

Grado en Ingeniería Mecánica
2017-2018

Trabajo Fin de Grado

Implementación y comparación de tecnología PlacTherm vs. “tradicional”

Eduardo Romero Reolid

Tutor:

Sergio Sánchez Delgado

Leganés, 11 de Julio 2018

RESUMEN

La característica diferencial del sistema de suelo radiante eléctrico PlacTherm es la reducción de la inercia térmica sobre las líneas de distribución, y de esta manera la disminución del calor perdido o derivado a lugares que no son los deseados. Esta disminución de la inercia térmica se consigue gracias a una reducción del mortero de cemento que se coloca en el acabado final que se resuelve con distintos tipos de acabados alternativos. Además, el sistema PlacTherm dispone de un sistema de tele-gestión donde cada módulo o baldosa se puede gestionar de manera individual, consiguiendo así una zonificación térmica y la optimización del sistema.

La finalidad del presente informe es la cuantificación y demostración de ahorro energético, y de esta manera también económico, que puede alcanzarse por el uso del sistema de suelo eléctrico PlacTherm frente a otras soluciones de climatización utilizadas actualmente.

Gracias a las herramientas informáticas actuales, es posible cuantificar el consumo energético necesario para mantener una zona térmica concreta de una vivienda a la temperatura requerida. Para la cuantificación y demostración objetivo de este trabajo, se ha diseñado un prototipo de vivienda unifamiliar, dotada de las características constructivas necesarias para cumplir la normativa de obligado cumplimiento en España: el Código Técnico de Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Sobre esta referencia de vivienda, se han establecido las ganancias internas del edificio y los horarios de funcionamiento, y se han realizado simulaciones con los sistemas de calefacción alternativos a los que denominaremos “tradicionales”, que comparar con el nuevo sistema PlacTherm. Por último, se exponen los resultados de estas simulaciones, se comparan y se demuestra el amplio ahorro energético del sistema PlacTherm.

ABSTRACT

The main differential feature of the PlacTherm electric radiant floor system is the reduction of the thermal inertia on the distribution lines, and consequently the reduction of the heat lost or derived to places that are not desired. This reduction of thermal inertia is achieved through the reduction of cement mortar that is placed in the final finish that is resolved with different types of alternative finishes. On top of this, the PlacTherm system has computerized management control system where each module or ceramic tile can be managed individually, this achieving thermal zoning and system optimization.

The purpose of this report is the quantification and demonstration of the energy savings and also economic which can be achieved by the use of the PlacTherm electric floor system compared to other thermal conditioning systems currently used. By using existing the right calculation methods and computer tools, it is possible to quantify the energy consumption necessary to maintain a specific thermal zone of a house at the required temperature.

For the quantification and objective demonstration of this work, a prototype of a single-family house has been designed, equipped with the constructive characteristics necessary to comply with the mandatory Spanish regulation: “Código Técnico de Edificación (CTE)” and “Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)”. On this reference of housing, the internal gains of the building, the hours of operation have been established, and different simulations have been made with the alternative heating systems, which we will call "traditional", that compare with the new PlacTherm system. Finally, the results of the simulations are presented, compared and the broad energy savings of the PlacTherm system is proven.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problemática del consumo energético mundial	1
1.2 Soluciones y protocolos frente al problema energético	3
1.3 Calefacción y consumo doméstico	5
2. OBJETIVOS.....	9
3. DEFINICIÓN DEL SISTEMA	10
3.1 Situación del suelo radiante en la actualidad	10
3.2 Características suelo radiante eléctrico PlacTherm	12
4. DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS PROPUESTOS	17
4.1 Diseño del modelo estructural del edificio	18
4.2 Designación de las soluciones constructivas a modelar	21
4.3 Establecimiento de las ganancias internas del edificio.....	26
4.4 Introducción de los horarios de funcionamiento.....	28
4.5 Descripción de los sistemas de calefacción “tradicionales”	33
4.5.1 Caldera de gas + emisores.....	33
4.5.2 Calefacción por aire (Bomba de calor aire-aire)	34
4.5.3 Suelo radiante hidráulico convencional	35
4.5.4 Suelo radiante eléctrico tradicional	36
4.6 Definición de datos climáticos a utilizar en las simulaciones termodinámicas	37
5. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES	40
5.1 Resultados energéticos.....	40
5.2 Análisis financiero del sistema PlacTherm.....	42
6. CONCLUSIONES.....	44
7. BIBLIOGRAFÍA.....	45
8. TRABAJOS FUTUROS.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cambios en temperatura, nivel del mar y nieve en el hemisferio norte.....	3
Figura 2: Distribución del gasto energético doméstico	5
Figura 3: Distribución del calor en los diferentes sistemas de calefacción	11
Figura 4: Esquema de baldosa PlacTherm	13
Figura 5: Disposición estructural baldosa PlacTherm	15
Figura 6: Axonometría seccionada	19
Figura 7: Sección 1	19
Figura 8: Axonometría exteriores.....	20
Figura 9: Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica.....	22
Figura 10: Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades de distinto uso, zonas comunes, y medianerías, U en $W/m^2 \cdot K$	22
Figura 11: Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades del mismo uso, U en $W/m^2 \cdot K$	22
Figura 12: Prestaciones térmicas de la envolvente térmica para la ZONA CLIMÁTICA D3	22
Figura 13: Prestaciones térmicas de los huecos de la envolvente térmica	23
Figura 14: Explicación de Azimut solar y Altura solar	39
Figura 15: Comparativa consumos energéticos sistema PlacTherm vs. Sistemas Tradicionales	41
Figura 16: Ahorro energético del sistema PlacTherm vs. Sistemas Tradicionales	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición baldosa Plactherm y propiedades	16
Tabla 2: Solución constructiva muros exteriores planta baja	24
Tabla 3: Solución constructiva muros exteriores planta primera	24
Tabla 4: Solución constructiva muros en contacto con el terreno	24
Tabla 5: Solución constructiva forjados en contacto con el terreno	25
Tabla 6: Solución constructiva cubierta.....	25
Tabla 7: Solución constructiva forjados interiores	26
Tabla 8: Solución constructiva particiones interiores.....	26
Tabla 9: Ganancias internas vivienda (1)	27
Tabla 10: Ganancias internas vivienda (2).....	27
Tabla 11: Programación de ganancias internas dormitorio	28
Tabla 12: Programación de ganancias internas cocina comedor	29
Tabla 13: Programación de ganancias internas dormitorio/sala de ensayos.....	30
Tabla 14: Programación de ganancias internas baño.....	31
Tabla 15: Programación de ganancias internas sala de instalaciones	32
Tabla 16: Resultados zonificados potencias Plactherm.....	40
Tabla 17: Costes desglosados baldosa Plactherm.....	43

1.INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática del consumo energético mundial

Se conoce como revolución industrial al proceso de transformación económica, tecnológica y socio cultural iniciada en el siglo XVII en Gran Bretaña que rápidamente se extendió a toda Europa y trajo consigo enormes cambios en las formas de producción, la agricultura, el transporte, la industria textil... En todos ellos encontramos una similitud: el paso del trabajo manual a la mecanización.

Todos estos avances y procesos produjeron cambios en todos los aspectos de la sociedad: un salto económico de occidente frente al resto del mundo, transformaciones sociales que implican la aparición de una burguesía poderosa y un proletariado urbano, cambios demográficos que hacen migrar a la población a las grandes urbes, revolución en el transporte con la aparición de la máquina de vapor y los ferrocarriles, así como cambios en los procesos energéticos, con el carbón como principal protagonista durante el siglo XVIII y parte del XIX.

Con la llegada del siglo XX y la segunda guerra mundial, a medida que el transporte motorizado, impulsado por derivados del petróleo conseguía afianzarse, la situación cambió de manera radical. Además, los avances tecnológicos que permitían el acceso a cantidades ingentes de materia prima bajo el suelo, así como la globalización, que permite el acceso a dichos materiales en cualquier parte del planeta, hacen del petróleo una commodity a nivel internacional.

De nuevo los avances en los procesos energéticos traen consigo cambios culturales, demográficos y sociales. El petróleo se convierte en uno de los bienes más preciados del planeta y llega a generar golpes de estado, revueltas sociales o grandes guerras en cualquier parte del mundo.

Como conclusión, los combustibles fósiles en todas sus variedades, petróleo, carbón y gas natural han sido el motor del mundo en estos últimos 250 años, y en la actualidad aportan más de un 80% de la energía consumida en el planeta.

Ahora bien, aunque los combustibles fósiles, tan ensalzados anteriormente, nos han llevado a conseguir el actual estado de bienestar y todos los avances descritos, tienen un reverso el cual es necesario conocer:

- Agotamiento de los combustibles fósiles: la garantía de suministro de los combustibles fósiles es su principal problema. Se generan a través de la descomposición de materia orgánica proveniente de plantas, algas y microorganismos en grandes mares o lagos, prácticamente en ausencia de oxígeno y hace millones de años. El tiempo necesario para la formación de un combustible fósil es muy grande, comparado con el ritmo de consumo en la sociedad de los mismos.
- Uso de los combustibles fósiles: un alto porcentaje de ellos son utilizados en procesos de combustión, es decir, con aporte de oxígeno y una pequeña chispa o llama que produce energía. El proceso es altamente simple, aunque también tiene graves consecuencias. En toda combustión, se producen determinados óxidos que pueden ser nocivos para las personas y para el medio ambiente, como se explica en el siguiente punto.
- Alteración del efecto invernadero: al contrario de como está comúnmente extendido, el efecto invernadero es positivo para el ser humano y altamente necesario. Se conoce como efecto invernadero al proceso mediante el cual determinadas partículas de la atmósfera retienen el calor o la radiación reflejada por la superficie terrestre una vez ha sido calentada por la propia radiación solar.

Durante millones de años, el efecto invernadero ha ido de la mano con la evolución en el planeta Tierra. Gracias a dicho fenómeno, ha sido posible la aparición de microorganismos, la formación de los suelos como los conocemos hoy en día, aparición de plantas hasta la llegada del propio ser humano.

El problema surge con la alteración de este efecto, y en concreto el aumento de la retención del calor. El aumento de la población, así como el aumento de la energía requerida por habitante y conociendo que un alto porcentaje de ella proviene de la combustión de carbón, petróleo y gas natural, contribuyen a agrandar este efecto invernadero. Es entonces cuando encontramos que este es un problema que preocupa a todos los niveles de la población. Desde el ciudadano de a pie, donde es la principal preocupación del 54,8% de los españoles según el Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS), hasta las altas instituciones, reflejado en los protocolos que hablaremos posteriormente.

Las consecuencias del aumento del efecto invernadero se reflejan en:

- Reducción del volumen de glaciares deshielo de los mismos. Esto produce subidas del nivel del mar.
- Grandes cambios en lluvias y aridez del terreno.
- Aumento de la temperatura de la tierra. Gran impacto sobre plantas y animales.

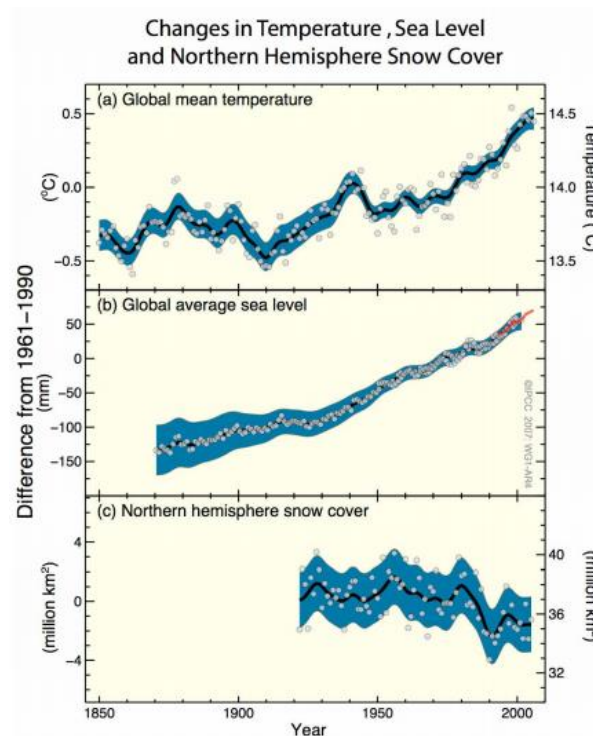


Figura 1: Cambios en temperatura, nivel del mar y nivel de nieve en el hemisferio norte [8]

1.2 Soluciones y protocolos frente al problema energético

Teniendo en cuenta esta “cara B” de los combustibles fósiles, es a mediados del siglo XX cuando se comienza a plantear esta problemática.

El deterioro progresivo de la naturaleza, la escasez de alimentos, fuentes de energía accesibles, agua o materia prima, junto con la aparición cada vez más común de desastres naturales, provocaron el movimiento del ser humano y la progresiva concienciación frente al cambio climático. Además, hubo una idea conjunta, el problema no se resolvería de forma individual, sino mediante la unión de todos los países bajo un mismo paraguas, el de la lucha contra el cambio climático.

Así, es en 1972 cuando la ONU convoca en Estocolmo la primera gran convención sobre el cambio climático. Su objetivo principal fue conocer los resultados de las

actividades industriales sobre la salud del hombre y la mujer. Uno de los grandes avances, fue el hecho de que las recomendaciones acordadas se debían seguir en todos los países del mundo.

Durante los siguientes quince años, las reuniones entre líderes mundiales para buscar soluciones al problema dado se sucedieron. De esta forma, se consiguieron dar pasos hacia delante que circularon de manera paralela a los avances científicos del momento.

Es llegado 1997 cuando se produce el ya famoso protocolo de Kioto. Se propuso como objetivo principal no agravar más este problema. Su entrada en vigor en 2005 supuso un gran cambio en el ámbito ambiental, así como en la relevancia dada a dicha problemática.

El protocolo de Kioto reconoce que existe un peligro real de que el clima cambie drásticamente en los próximos años, sin conocer las consecuencias que podría acarrear. Establece un marco general, así como unas medidas específicas a llevar a cabo. Se fomenta en gran medida el estudio contra el cambio climático. Así, se trata de compartir información y avances tecnológicos, yendo todos en una única dirección.

Entre las diferentes propuestas, cabe destacar la reducción de emisiones de Gases de Efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O, CFC's, PFC's...) un 5,2% frente a los niveles de 1990 en el conjunto de la unión europea. Se propone implementarlo de una manera suave de forma que no impacte en gran medida a la economía y sistemas productivos; además, se fomentará el uso de energías renovables, y también de tecnologías más eficientes, donde el trabajo realizado consuma menor cantidad de energía, y consecuentemente menos emisiones.

El tratado de Kioto se considera el primer punto de inflexión en el ámbito del cambio climático, pero la historia que se esconde detrás, y por lo que se le conoció internacionalmente, fue por la controversia que trajo, llegando a crear tensiones internacionales: algunos países necesitaban cambiar sus procesos de producción y consumo para hacer frente a las medidas acordadas.

Así, fue en 2016 cuando se realizó la última gran cumbre del cambio climático en París. Se decidió no sobrepasar los 2°C a nivel global frente a la temperatura preindustrial. No se establecieron medidas propias para cada país, por lo que se planteó de manera flexible, aunque activa por todas sus partes. Los países desarrollados jugarán un papel

más importante mientras que aquellos en vías de desarrollo irán tomando cartas en el asunto de manera progresiva.

1.3 Calefacción y consumo doméstico

En resumen, desde la revolución industrial hasta nuestros días, el problema energético y el cambio climático como consecuencia principal no ha hecho más que agravarse. A pesar de los continuos acuerdos, protocolos y demás reuniones institucionales, no se ha conseguido solucionar el problema. Aun así, se considera que se han realizado numerosos avances para suavizar su impacto.

Como se comentó anteriormente, la reducción de consumo es literalmente imposible ante el aumento constante de población y de la intensidad energética requerida por la sociedad por la mejora del nivel de vida. Además, las energías renovables no se plantean hoy como una alternativa fiable capaz de poder suministrar las ingentes cantidades requeridas.

A nivel doméstico, el gasto energético se distribuye según el siguiente gráfico por usos y aplicaciones. Se observa un consumo en calefacción del hogar de un 52% del total de la vivienda, llegando en algunos casos a ser de un 70%. Es por ello por lo que una mejora en dicho campo tendrá un gran impacto a nivel global.

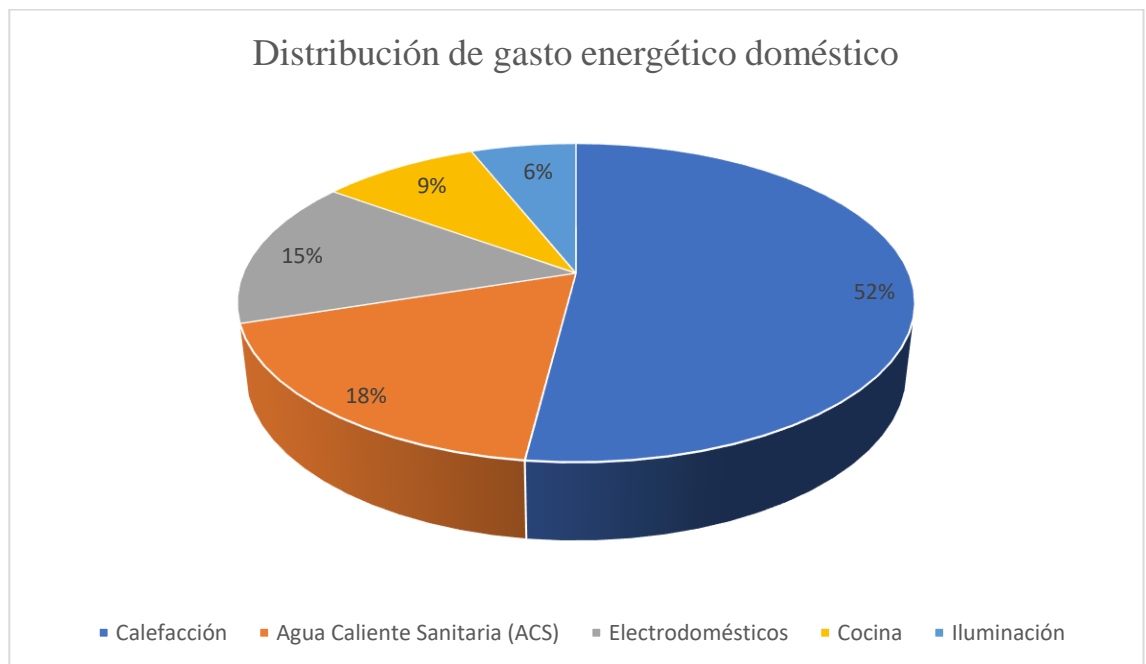


Figura 2: Distribución del gasto energético doméstico [7]

Por lo tanto, una solución del problema energético a nivel doméstico puede plantearse a través de las dos siguientes vías:

- La reducción de la demanda de calefacción por parte del hogar, que consiga un mismo confort con menor requerimiento energético.
- Mejoras en los procesos de calefacción a través de avances tecnológicos que permitan mejorar la eficiencia. Se conoce como eficiencia a la capacidad de conseguir algo con el menor número de recursos posibles. Así, trataremos de conseguir este mismo requerimiento calórico con menor cantidad de energía posible.

De esta forma, se plantea este proyecto como una alternativa capaz de reducir el consumo y las emisiones derivadas del mismo, en un caso común como la calefacción de un edificio estándar.

Previamente a la disposición del propio proyecto, es necesario poner en antecedentes el estado de los principales sistemas de calefacción actuales, mostrando sus ventajas e inconvenientes:

- Caldera + distribuidores: es uno de los sistemas más cómodos y seguros. Se basa en el uso de una caldera en la que se calienta agua y a través de un sistema de tuberías y distintos elementos de distribución, por ejemplo, radiadores, se consigue calentar las estancias. Hay muchos tipos de calderas en la actualidad: de gasóleo, de leña, eléctricas o de gas, por ejemplo, siendo los dos últimos los más comunes a nivel residencial.

Por los tubos puede circular vapor de agua o agua a altas temperaturas. El agua que se enfría vuelve de nuevo a la caldera, generando así un circuito prácticamente cerrado.

- Bomba de calor: su funcionamiento se asimila a un ciclo de generación reversible, con un foco caliente y un foco frío. Cuando se aplica energía eléctrica al sistema, uno de los focos aumenta su temperatura, del mismo modo que el otro la disminuye. Es por ello por lo que tiene una doble función de calefacción o refrigeración.

En función de cuales sean las fuentes calientes y frías, encontramos diferentes tipos de bombas: aire-aire donde el calor se toma del aire exterior y se transmite directamente al interior; aire-agua donde el calor del aire exterior abastecerá una red de tuberías y distribuidores (radiadores); agua-agua en el que se toma

el calor de un ciclo de agua para transferirlo a un segundo ciclo que será el distribuidor; y agua-aire por el que se toma el calor de un ciclo cerrado de agua y se trasfiere al propio habitáculo.

Es necesaria la instalación de un ventilador para que no existan sobrecalentamientos en el dispositivo. En función de la bomba seleccionada, puede requerirse también de un filtro del aire exterior.

- Emisores termoelectrónicos: se basan en el calentamiento de determinados tipos de aceites y su posterior distribución al aire de la habitación. El calentamiento de este aceite se realiza mediante electricidad de la propia red del hogar. Es por ello por lo que su instalación es sencilla y el movimiento del mismo también.
- Calefacción eléctrica: es uno de los sistemas más comunes en zonas cálidas, debido a su utilización sencilla y su escaso mantenimiento. A través de la corriente común, se calientan las resistencias eléctricas que incluye el calefactor y de esta forma se caldea también la habitación. Si su uso es prolongado, es necesario tener en cuenta el elevado consumo eléctrico.
- Calefacción mediante energías renovables: son alternativa menos convencional en calefacción de un hogar. Aun así, su importancia e instalaciones van en aumento.

No todas las energías renovables son aptas para la calefacción de una casa. Únicamente tendremos en cuenta aquellas que su aplicación sea común en la propia calefacción, es decir, geotérmica, solar térmica y biomasa. El resto fuentes de energía renovables, eólica, fotovoltaica, hidráulica... se utilizan raramente en sistemas de calefacción.

La geotermia se basa en la obtención del calor proveniente del sol y acumulado en la corteza terrestre de forma natural. Debido a su carácter dual, pudiendo trabajar como bomba de calor o refrigeración, se le aporta una gran proyección en los próximos años.

Hace algunos años, se trató de imponer la energía solar térmica, realizando numerosos estudios e inversiones para que llegara al nivel competitivo suficiente para calefactar hogares. Los principales motivos de su poco éxito son su elevada inversión inicial, y la relación inversa entre la radiación solar recibida y la demanda de calefacción.

La energía obtenida de la biomasa es muy versátil, y tiene una característica única, que se puede almacenar. En ocasiones se ha dicho que es una fuente de energía única, según la cual las emisiones de CO₂ producidas en su combustión, se nivelan en las absorbidas en el crecimiento de dicha materia natural. En el otro punto de vista se encuentra Hartmunt Michel, premio nobel de química en el año 1988, quien afirma en una entrevista para el periódico El País [11]:

“Para producir algunos biocombustibles, como el etanol, hace falta invertir mucha energía en forma de fertilizante, de transporte... Y también en el destilado del alcohol. Lo que obtienes al fermentar el vegetal es algo como el vino, con un 10% de alcohol, y hay que convertirlo en alcohol 100%. Para eso hay que invertir casi tanta energía como la que hay en el etanol. Y si obtienes esa energía de combustibles fósiles, acabas emitiendo más CO₂ de lo que emitirías simplemente usando gasolina en el coche.”

- Suelo radiante: es uno de los sistemas más confortables para los climas fríos donde el calor se obtiene desde la propia superficie del habitáculo. Además, ayuda notablemente a guardar la estética del hogar, al no haber ningún aparato a la vista.

Respecto al propio origen del calor, encontramos suelo radiante por agua caliente, donde el funcionamiento es muy similar al de una caldera, con el mecanismo muy cerca de la superficie y una serie de elementos que ayudan a su distribución como tubos plásticos o placas aisladoras. La segunda modalidad de suelo radiante es el eléctrico. De nuevo su funcionamiento se asemeja a un sistema explicado anteriormente, donde la electricidad se utiliza para calentar determinadas resistencias que aclimatan la habitación.

Además de las ganancias de espacio en el hogar al no haber espacios ocupados por sistemas de calefacción (se obtiene entre un 3%-5% de superficie útil), hay que añadir una mayor salubridad al no existir contrastes de temperatura entre las habitaciones ni acumulación de polvo, el control domótico y el ahorro de energía, que se demostrará en capítulos posteriores.

Como principal inconveniente encontramos los altos costes de instalación, al requerir de la realización de una obra para levantar el suelo e instalar dicho sistema de calefacción.

2. OBJETIVOS

Para atender la problemática relacionada con el aumento del consumo energético y la escasez de fuentes de energía capaces de no agravar el cambio climático y aumentar el efecto invernadero, es necesario buscar una solución. Además, el cumplimiento de los protocolos actuales de emisiones y contaminación, obligan a encontrar avances tecnológicos que consigan mejorar la eficiencia de los sistemas actuales. En esta búsqueda de nuevas tecnologías se encuentra el sistema de calefacción Plactherm.

Plactherm es un sistema de calefacción de suelo radiante, cuya característica principal es la reducción de la inercia térmica generada encima de las líneas de distribución. Además, dispone de un sistema de tele-gestión que permite grandes ahorros a nivel energético. Se detallará más información en el apartado de descripción del sistema.

El objetivo principal del proyecto es conocer y demostrar las ventajas energético-económicas del suelo radiante Plactherm frente al resto de tecnologías existentes hasta el momento. Para ello, se utilizará la herramienta *EnergyPlus*, uno de los softwares con mejores prestaciones del mercado en el ámbito de simulaciones energéticas. Este objetivo general lo podemos desglosar en los siguientes objetivos específicos:

1. Diseño de un espacio sobre el que ensayar el sistema Plactherm y los demás sistemas convencionales.
2. Propuesta de solución constructiva, teniendo en cuenta las normativas de obligado cumplimiento (CTE, RITE).
3. Simulación y comparativa energética de los sistemas de calefacción teniendo en cuenta las ganancias internas, horarios de funcionamiento y la zonificación térmica.
4. Demostración del ahorro energético y económico del sistema Plactherm.
5. Evaluación económica del sistema, aportando datos de retorno económico e inversiones necesaria.

Además, habrá que realizar una definición concreta de las situaciones en las que se ensayará el modelo. Es necesario la definición de los espacios utilizados.

En función de las condiciones climatológicas, el funcionamiento del sistema puede variar. Así, se diseña un edificio modelo de una vivienda unifamiliar, teniendo en cuenta las normativas de obligado cumplimiento (CTE, RITE), y sobre dicho modelo se realizarán las simulaciones.

3. DEFINICIÓN DEL SISTEMA

3.1 Situación del suelo radiante en la actualidad

PlacTherm, es una variante de los sistemas de suelo radiantes convencionales. Antes de adentrarnos en su composición y en sus características principales, es necesario una definición concreta de qué es y cómo funciona la calefacción por suelo radiante.

El suelo radiante es uno de los sistemas de calefacción más eficientes y comunes en países con climas fríos como Alemania o los países nórdicos. Su funcionamiento se basa en diferentes elementos que se encuentran bajo el suelo que están a altas temperaturas. Estos, emiten calor de forma que consiguen calefactar el habitáculo deseado. Como su propio nombre indica, la transmisión de calor se hace por radiación básicamente, aunque también juega un papel importante la convección. En general, se trasfiere la energía (en forma de calor) al suelo y de posteriormente, ayudado de diferentes sistemas de distribución, al resto del habitáculo.

Su funcionamiento se rige usando la lógica básica de transferencia de calor. Como bien sabemos, el aire caliente tiene menor densidad que el aire frío y por ello ocupa siempre las zonas altas de las habitaciones. Así, si se quiere conseguir determinado confort térmico (concepto que se explicará en detalle en el tema XX) es necesario instalar un sistema de calefacción en las partes bajas, y el suelo es la zona idónea.

La siguiente imagen muestra los diferentes perfiles de temperatura de los sistemas de calefacción básicos.

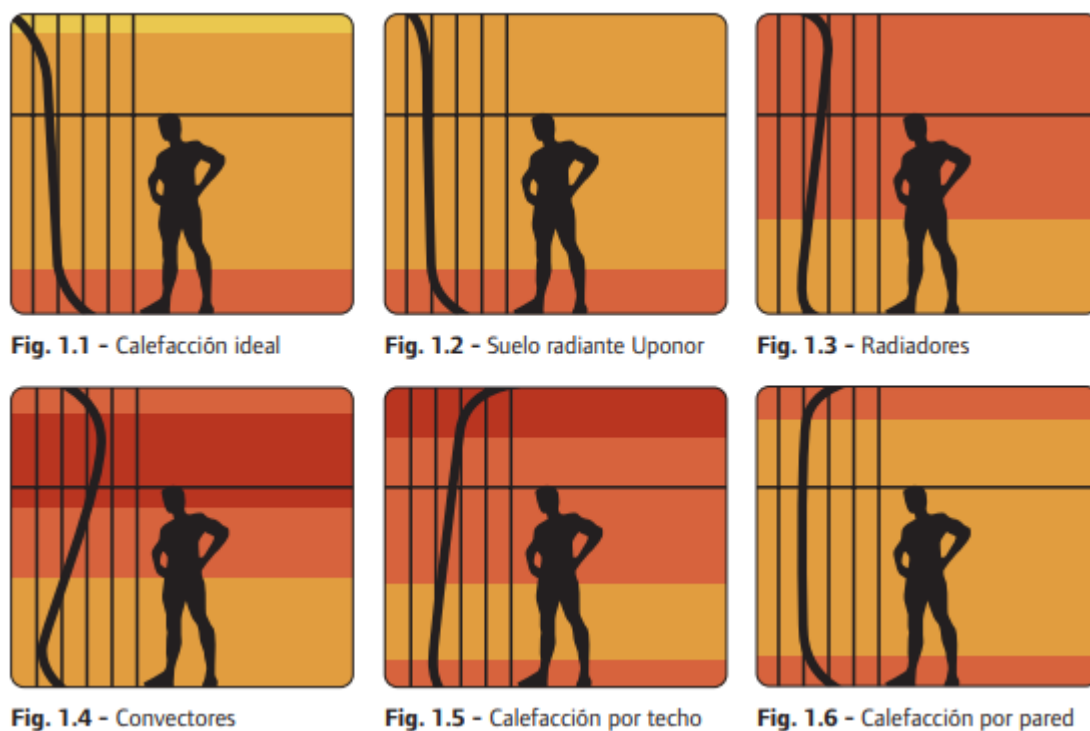


Figura 3: Distribución del calor en los diferentes sistemas de calefacción [4]

Existen dos tipos de suelos radiantes: suelo radiante por agua o por electricidad. El suelo radiante hidráulico no es nada nuevo. Se conocen instalaciones con sistemas similares del siglo XIII a.C. en Anatolia, Turquía. El funcionamiento es simple, se introducen una serie de canalizaciones debajo del suelo y se hace circular agua a altas temperaturas que proviene por lo general de calderas.

En la actualidad, se ha mejorado ampliamente este sistema. Los agujeros con pilares se han sustituido por tubos plásticos que transfieren mejor el calor al mortero que tienen en la parte superior, y se han acercado notablemente a la superficie; se han producido muchas mejoras en el calentamiento de agua, con calderas extremadamente eficientes; el fluido que corre por los tubos de plástico tiene muchos aditivos que mejoran las prestaciones... En general se han modificado todas las partes del proceso a lo largo de los años con un único objetivo, que el calor del agua llegue prácticamente en su totalidad al habitáculo.

El suelo radiante hidráulico posee además otra gran cualidad no presente en el eléctrico. En zonas con un clima cálido, se puede hacer pasar agua a bajas temperaturas que ayudará en parte a la refrigeración de la vivienda. Aun así, la principal función del suelo radiante es calefactar.

Respecto al suelo radiante eléctrico o de baja temperatura, es una evolución frente al sistema hidráulico. Se basa en una red de cables dispuesta normalmente de forma serpenteante a lo largo del suelo situada debajo del suelo. Este cableado se utiliza para el calentamiento por resistencia eléctrica el cual suministra energía (calor) a la superficie de suelo de las zonas del edificio. El control de la temperatura se lleva a cabo mediante la variación de potencia eléctrica suministrada a la unidad.

La puesta en marcha y el tiempo requerido para llegar a temperaturas de confort es mucho menor debido a que tiene menor inercia térmica que el sistema hidráulico. En ocasiones sigue estando limitada.

3.2 Características suelo radiante eléctrico PlacTherm

Una vez explicados los dos tipos de suelos radiantes y su funcionamiento básico, se procede a detallar el valor diferenciador del sistema PlacTherm.

El sistema PlacTherm se compone de un suelo radiante eléctrico cuya característica principal es la reducción de la inercia térmica existente encima de las líneas de distribución de la energía calorífica hacia las diferentes zonas térmicas. La inercia térmica es una propiedad de un cuerpo que indica la cantidad de calor que puede absorber y la velocidad con la que cede el mismo. Depende básicamente de los materiales de los que esté formado. Por ello, entraremos en detalle más adelante de la composición de la propia placa indicando los materiales que la componen y los calores específicos de los mismos.

La reducción de la inercia térmica se consigue gracias a la minimización del espesor de mortero de cemento necesario para instalar el acabado final, que se resuelve con un acabado resistente con reducido espesor.

Además, el sistema PlacTherm dispone de un sofisticado sistema de tele-gestión, cada módulo o baldosa dispone de diferentes sensores de presión que optimizan la gestión de las diferentes áreas de cada zona a climatizar. Gracias a que PlacTherm no es una única superficie, sino es un conjunto de placas de aproximadamente 1m², aparece la opción de zonificar, gracias a la cual se aumenta de nuevo la eficiencia del mecanismo.

A continuación, se exponen las principales ventajas de los suelos radiantes y particularizando en el sistema a estudiar, PlacTherm:

- **Fácil y rápida auto instalación:** sin necesidad de técnicos, obreros o personal cualificado. Simplemente se puede instalar bajo la moqueta de la habitación o levantando el propio suelo.
- **Modular:** como hemos comentado anteriormente, se considera su característica principal. Es importante comentar que cada placa posee sensores de presión y sistemas electrónicos que permiten controlar el sistema de forma desglosada en la zona térmica donde es instalado, es decir, se posibilita el control de cada módulo independientemente del resto de módulos instalados en la zona. Al ser modular, la instalación puede realizarse a medida del usuario, pudiéndose instalar en todo el edificio, en algunas zonas o únicamente en un habitáculo.

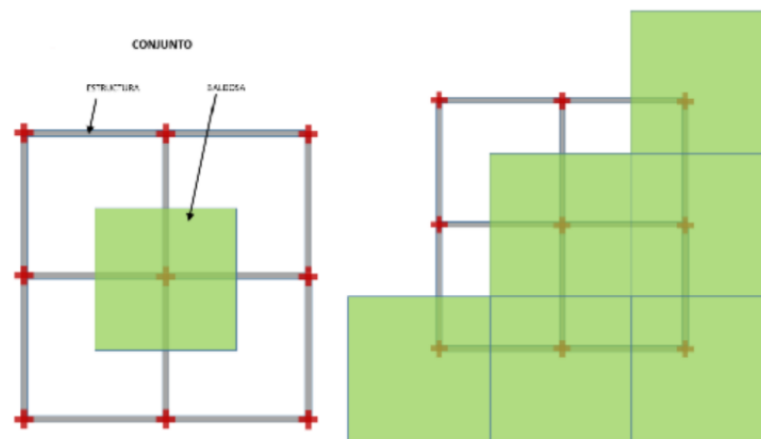


Figura 4: Esquema de baldosa PlacTherm [16]

- **El calor donde se necesite:** el aire caliente tiene menor densidad que el frío por lo que sube (en realidad es el aire frío, más denso, el que baja), por ello será mejor calentar de abajo a arriba que de arriba abajo. Mejor de manera más o menos uniforme, que todo a partir de un punto en un lateral, como con los radiadores convencionales; mejor enfatizar donde queremos el calor si una parte de la habitación está deshabitada.
- **Eficiencia:** el suelo se aísla a la vez que se hace la baldosa más conductora térmicamente. Se trabaja con resistencias de baja temperatura y baja potencia. Además, utiliza softwares de optimización de transferencia térmica para conseguir una gestión óptima de la energía, pudiendo alimentar la placa en los momentos donde el precio de la electricidad sea menor, por lo que se

reduce el gasto. Además, cada baldosa tiene un sensor de temperatura, y si una está al sol y cumple la temperatura de consigna, se mantiene en reposo.

- **Actualizable**: todas las evoluciones que se han realizado en años posteriores y que se siguen investigando son aplicables al modelo original. De la misma manera, se puede reemplazar una única baldosa dañada, sin tener que alterar todo el sistema. Del mismo modo, se pueden modificar la posición de las mismas si las condiciones del edificio cambian o pueden llevarse de mudanza.
- **Control remoto**: es posible controlar la temperatura del hogar dónde y cuándo quiero mediante el smartphone o el ordenador. Poder arrancar el sistema antes de llegar a casa o reprogramar las horas de puesta en marcha y parada es posible desde cualquier dispositivo. Incluso podemos realizar un control del consumo en directo, con el historial y las previsiones para temporadas futuras.
- **Seguro y saludable**: no existe un foco de temperatura que pueda quemar, ni se reseca el ambiente al forzar el movimiento del aire.
- **Ecológico**: utiliza materia prima limpia, consume muy poco y es 100% compatible con energías renovables.
- **Funciones avanzadas**: gracias a los sensores de presión y temperatura, puede funcionar como sistema de alarma en caso de robos o caídas en el hogar. Automáticamente accede a llamar a los servicios de emergencia si se programa de tal manera.
- **Multisectorial**: gracias a todas las propiedades enunciadas anteriormente, PlacTherm se puede adaptar tanto para usuarios finales como para hoteles, hospitales, edificios históricos, terrazas...

Además, se aportan diferentes propiedades termo-físicas del sistema PlacTherm para obtener una definición técnica detallada del mismo:

- El sistema se compone de cinco capas con unas dimensiones de 500x500, ordenadas de superior a inferior: la baldosa resistiva, una capa aislante y una estructura polimérica.
- Conductividad térmica: la baldosa resistiva tiene una conductividad de 1.4W/mk. Se están probando diferentes evoluciones en la composición de la baldosa para obtener valores de conductividad por área entre 2.3W/m²k y 10,4W/m²k.

- La densidad de la baldosa se encuentra entre 2400 y 2500 kg/m³. El aislante entre 70 y 150 y la estructura de fibra de vidrio entre 1800 y 1900 kg/m³.
- El valor de la absorción térmica oscila entre 0.85 y 0.95 al ser cemento. Cabe señalar que el valor puede bajar tras pulir o realizar procesos de acabado sobre el material.
- Rugosidad: como se comentó anteriormente, la superficie es totalmente lisa.
- La potencia eléctrica máxima de diseño es de 80W/m².
- La temperatura operativa de confort se define en 21°C.
- El rango de control de la potencia eléctrica suministrada a la placa es de 0,5°C. Este valor indica la franja de temperaturas que controlan la potencia eléctrica de entrada al sistema PlacTherm. Si el termostato de la zona se programa a 21°C, cuando la temperatura varíe entre 20,75°C y 21,25°C, la potencia eléctrica de entrada al suelo radiante irá de 0W (20,75°C) a la potencia máxima del sistema de manera proporcional.

Adentrándonos a fondo en la composición de la propia placa, está compuesta por distintas capas como se muestra en la siguiente imagen. En la parte inferior, se sitúa un elemento aislante por debajo del propio soporte de la placa. Encima, encontramos un material refractario cuya función principal es que todo el calor suministrado por las resistencias vaya hacia la parte de arriba, hacia la habitación a calefactar. Posteriormente encontramos el propio elemento resistivo, que recibe la electricidad a través de un cableado simple, y a través de las resistencias disipa calor. La baldosa cerámica sería el último material presente en la composición de la baldosa.

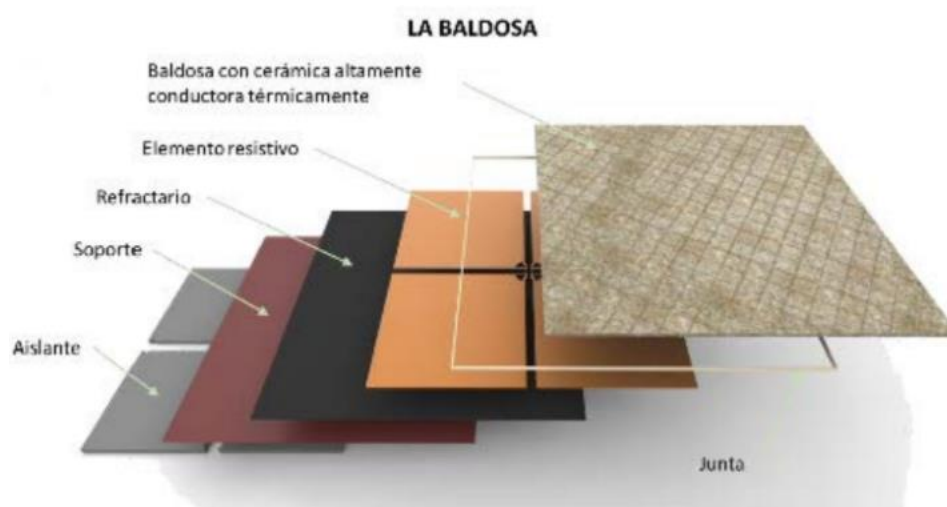


Figura 5: Disposición estructural baldosa PlacTherm [16]

Por último, es necesario conocer las propiedades térmicas de cada material en la baldosa, así como su espesor. De esta forma, se podrá calcular la resistencia total de la placa y conocer la cantidad de calor real cedida a la habitación por unidad de superficie. Se conoce que el elemento resistivo se encuentra entre las dos baldosas de Stonita.

El diseño de la placa es el siguiente:

TABLA 1: COMPOSICIÓN BALDOSA PLACTHERM Y PROPIEDADES [16]

Capas de PlacTherm	Espesor (m)	λ (W/m·°C)	R_T (m ² ·°C/W)	U (W/m ² ·°C)
Resistencia Térmica Exterior	-	-	-	0,294
Aislamiento térmico - suelo sobre terreno	0,100	0,034	2,941	
Polipropileno reforzado con talco	0,040	0,310	0,013	
Cámara de aire no ventilada	0,020	-	0,160	
Polipropileno reforzado con talco	0,004	0,310	0,013	
Espuma de PVC	0,005	0,030	0,167	
Baldosa resistiva de Stonita	0,002	1,400	0,001	
Baldosa resistiva de Stonita	0,003	1,400	0,002	
Resistencia Térmica superficie interior	-	-	0,100	
TOTAL	0,138		3,397	

4. DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS PROPUESTOS

Como se ha comentado en el capítulo anterior, PlacTherm es un sistema de calefacción por suelo radiante cuya característica principal es la reducción del mortero de cemento encima de la placa, y la posibilidad de zonificar. Esta zonificación da lugar a multitud de propuestas a la hora de instalarlo y amoldarlo a un habitáculo.

El objetivo principal de este proyecto es realizar una comparación de datos de consumos entre suelo radiante eléctrico PlacTherm y el resto de sistemas de calefacción “tradicionales”. Para ello, primero se realiza una propuesta teórica un edificio a modo de prototipo que nos servirá de modelo termodinámico. Además, se aportará la descripción técnica de los diferentes sistemas de calefacción “tradicionales” que nos servirán de comparativa de la eficacia del sistema PlacTherm.

Es muy importante la localización a utilizar en cada una de las simulaciones termodinámicas a realizar. Para ello, se ha elegido Madrid como centro de la simulación termodinámica.

Los diferentes sistemas de calefacción propuestos para poder realizar la comparación, todos ellos introducidos en el primer capítulo, son los siguientes.:

- Caldera de gas + Emisores (radiadores convencionales)
- Calefacción por aire (Bomba de calor aire-aire)
- Suelo radiante hidráulico convencional
- Suelo radiante eléctrico convencional

Para poder analizar el comportamiento del sistema en estudio se proponen diseñar un escenario de pruebas simplificado que permita visualizar fácilmente el desempeño del sistema y su funcionamiento. Así, en el apartado siguiente se procede a diseñar el escenario sobre el que poner a prueba el sistema y poder compararlo con diferentes sistemas de calefacción.

En el presente punto, se programarán todos los inputs a tener en cuenta y se realizarán las simulaciones termodinámicas de cada uno de los prototipos de edificios, programando como sistema de calefacción el sistema PlacTherm.

Los diferentes inputs que hay que considerar para programar las simulaciones se resumen en los siguientes apartados:

- a) Diseño del modelo estructural del edificio.

- b) Designación de las soluciones constructivas a modelar como cerramientos, cubiertas, acristalamientos...
- c) Establecimiento de las ganancias internas del edificio: iluminación, ocupación o maquinaria.
- d) Introducción de los horarios de funcionamiento del sistema.
- e) Planteamiento de los modelos “tradicionales” con los que se realizará la comparativa.
- f) Definición de los datos climatológicos a emplear en las simulaciones termodinámicas.

4.1 Diseño del modelo estructural del edificio

En lo que respecta la tipología del edificio se ha optado por una vivienda unifamiliar, ya que son las más extendidas y más sencillas a la hora de adaptar todos los inputs definidos anteriormente.

Básicamente se basa en dos grandes bloques. El primer bloque es de uso residencial básico, donde se lleva a cabo la vida diaria. Está compuesto por dos alturas, unidas por la escalera. El segundo bloque, adosado al primero con uso de ocio, es de una única altura y comparte cubierta con el primer bloque.

A continuación, se exponen diferentes imágenes y planos del hogar, para mostrar la disposición volumétrica y espacial diseñada. Los planos detallados se adjuntan en el anexo A.

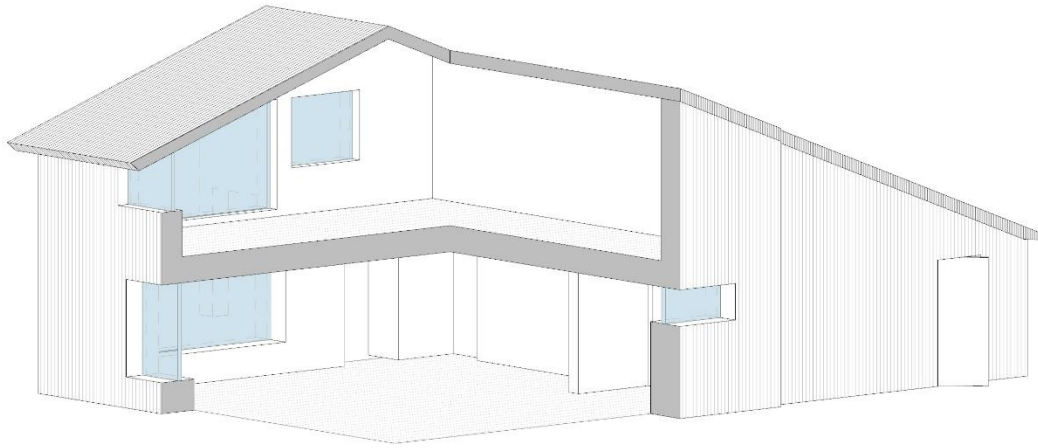


Figura 6: Axonometría seccionada

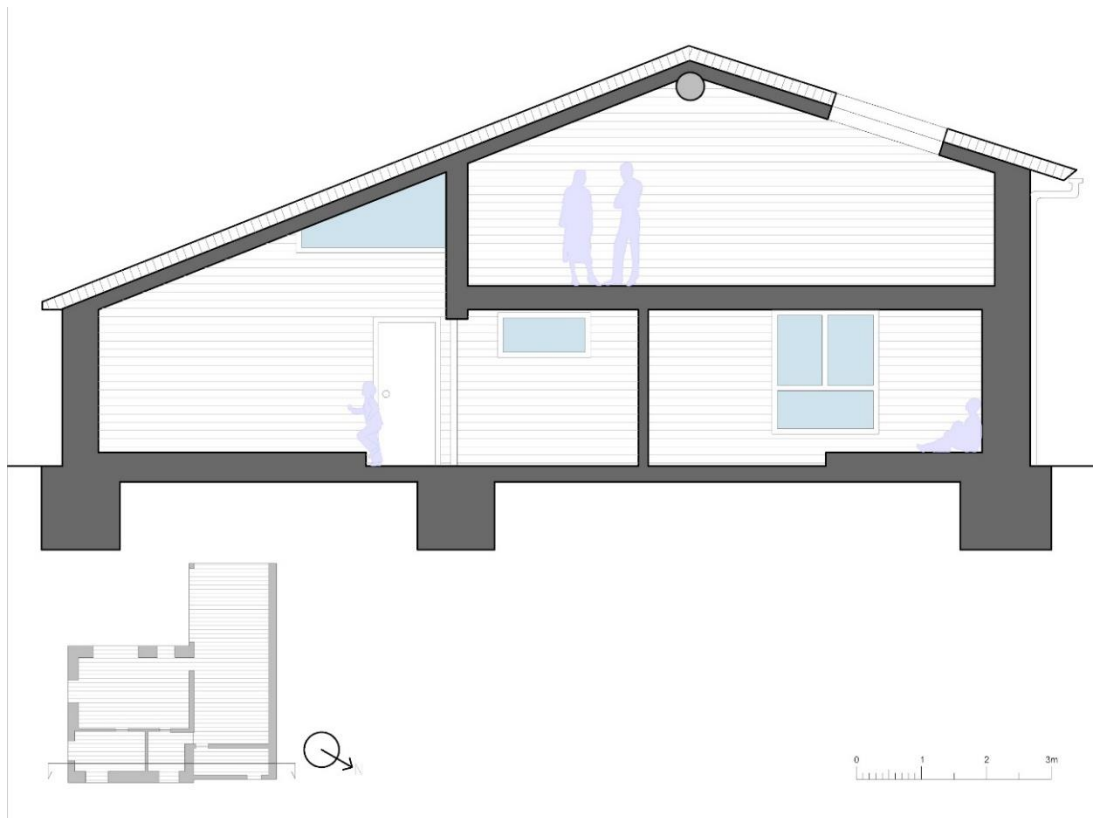


Figura 7: Sección 1

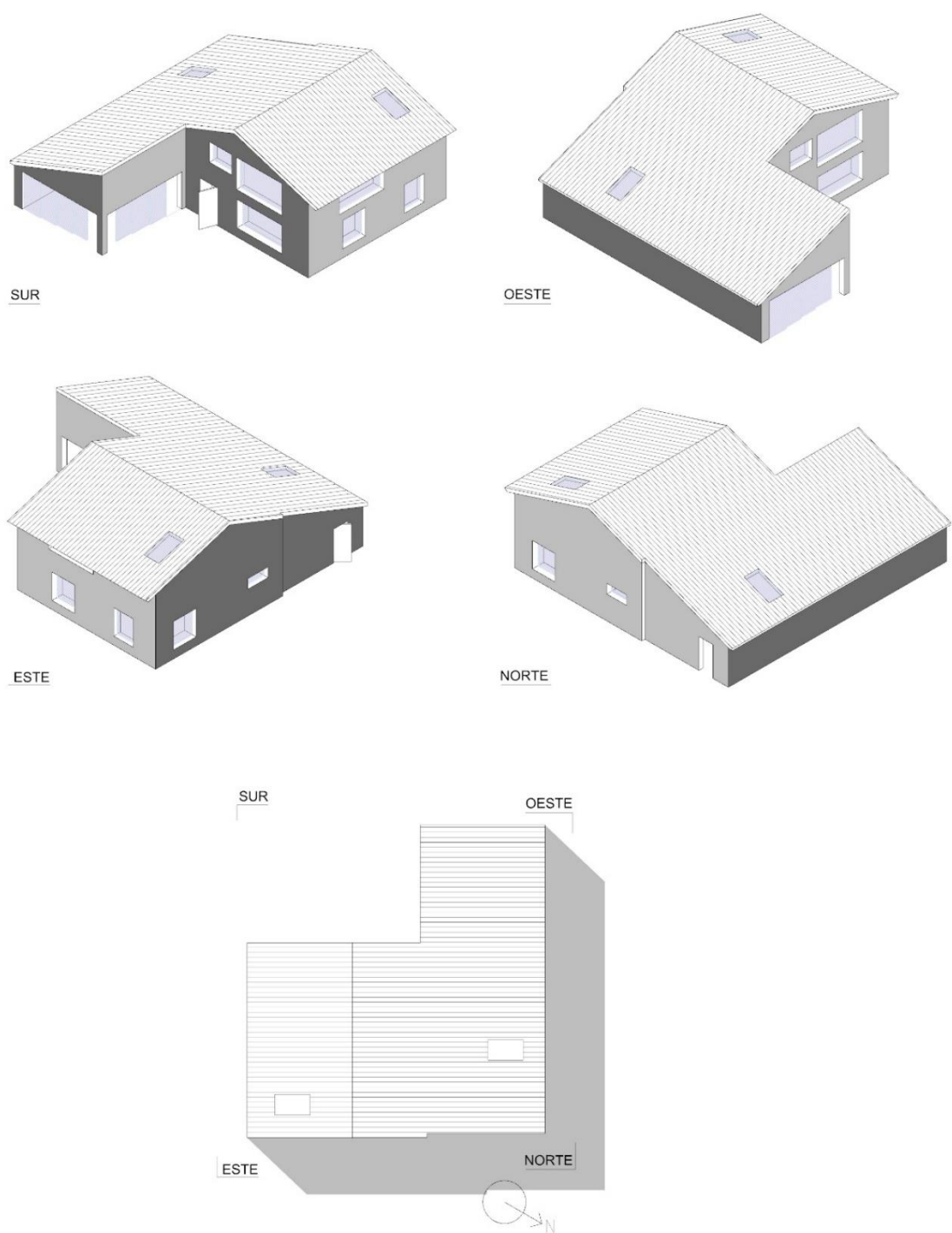


Figura 8: Axonometría exteriores

4.2 Designación de las soluciones constructivas a modelar

Se utilizarán soluciones constructivas basadas en estructuras horizontales a base de forjados de hormigón armado, muros de carga formados por capas de ladrillos y piedra natural y acabados de piedra o pinturas. Cobertura de pizarra, carpintería interior y exterior de madera y doble vidrio para los acristalamientos.

En cuanto a las prestaciones energéticas, nos basaremos en el *Documento Básico HE – Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación*. El Código Técnico de la Edificación (CTE de aquí en adelante) es un instrumento normativo que fija las competencias y necesidades básicas de cualquier edificio. Trata de conseguir la seguridad y el bienestar de las personas que lo utilicen. No únicamente en el ámbito estructural, también conlleva la salubridad, protección contra ruidos o incendios, ahorro energético...

Así, introduciéndonos en el CTE para identificar las soluciones constructivas de la vivienda, encontramos las siguientes líneas sobre la envolvente térmica del edificio:

“La envolvente térmica del edificio está compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios habitables con el aire exterior, el terreno u otro edificio terciario, y por todas las particiones interiores que delimitan los espacios habitables con espacios no habitables en contacto con el ambiente exterior”

“La demanda energética de los edificios se limita en función de la zona climática de la localidad en que se ubican y del uso previsto”

“En edificios de uso residencial privado, las características de los elementos de la envolvente térmica deben ser tales que eviten las descompensaciones en la calidad térmica de los diferentes espacios habitables. Se limitará igualmente la transferencia de calor entre unidades de distinto uso, y entre las unidades de uso y las zonas comunes del edificio.”

“La transmitancia térmica y permeabilidad al aire de los huecos y la transmitancia térmica de las zonas opacas de muros, cubiertas y suelos, que formen parte de la envolvente térmica del edificio, no debe superar los valores establecidos en la tabla 2.3. De esta comprobación se excluyen los puentes térmicos.”

Si acudimos al apéndice B, y a la tabla B.1, podremos observar que Madrid se encuentra en la zona D3 con una altitud sobre el nivel del mar de 589m. Entrando en las siguientes tablas en las columnas correctas, encontraremos los valores de las transmitancias térmicas que deben poseer las soluciones constructivas:

Parámetro	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno ⁽¹⁾ [W/m ² ·K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m ² ·K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos ⁽²⁾ [W/m ² ·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos ⁽³⁾ [m ³ /h·m ²]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

⁽¹⁾ Para elementos en contacto con el terreno, el valor indicado se exige únicamente al primer metro de muro enterrado, o el primer metro del perímetro de suelo apoyado sobre el terreno hasta una profundidad de 0,50m.

⁽²⁾ Se considera el comportamiento conjunto de vidrio y marco. Incluye lucernarios y claraboyas.

⁽³⁾ La permeabilidad de las carpinterías indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa.

Figura 9: Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica [17]

Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Particiones horizontales y verticales	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

Figura 10: Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades de distinto uso, zonas comunes, y medianerías, U en W/m²·K [17]

Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Particiones horizontales	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
Particiones verticales	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00

Figura 11: Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades del mismo uso, U en W/m²·K [17]

Más específicamente para la zona D3, las soluciones constructivas poseerán las siguientes prestaciones térmicas:

% de huecos	Transmitancia límite de huecos U_{Hlim} W/m ² K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Media, alta o muy alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5	2,9	3,5	3,5	-	-	-	0,54	-	0,57
de 31 a 40	2,2	2,6	3,4	3,4	-	-	-	0,42	0,58	0,45
de 41 a 50	2,1	2,5	3,2	3,2	0,50	-	0,53	0,35	0,49	0,37
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	0,42	0,61	0,46	0,30	0,43	0,32

Figura 12: Prestaciones térmicas de la envolvente térmica para la ZONA CLIMÁTICA D3 [17]

Siendo las prestaciones térmicas de los huecos de la envolvente térmica las expuestas a continuación:

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}: 0,28$

Figura 13: Prestaciones térmicas de los huecos de la envolvente térmica [17]

Antes de proponer las soluciones constructivas que satisfagan todas las pautas establecidas anteriormente según el CTE, es necesario recordar que la resistencia térmica es la inversa a la transmitancia térmica, cumpliéndose las siguientes ecuaciones:

$$U_T = \frac{1}{R_T}$$

Siendo U_T la transmitancia térmica total expresada en $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, y R_T la resistencia térmica total en $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$. Además, el resultado de la resistencia térmica total se obtiene de la suma de todas las resistencias:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_{se}$$

Donde R_{si} representa el valor de la resistencia superficial interior, R_{se} la exterior y R_n cada una de las resistencias térmicas de cada material que formará la solución constructiva. Por último, hay que añadir que el valor de R_n se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$R_n = \frac{e}{\lambda}$$

Siendo λ la conductividad térmica del material ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$) y el e el espesor de la capa del material en metros (m).

Para conseguir las prestaciones térmicas definidas anteriormente según la normativa española de obligado cumplimiento, se procede a dar una solución constructiva a todas las partes del edificio:

- Muros de fachada

TABLA 2: SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA MUROS EXTERIORES PLANTA BAJA

Capas del cerramiento Exterior Planta Baja	Espesor (m)	λ (W/m·°C)	R_T (m²·°C /W)	U (W/m²·°C)
Resistencia Térmica superficie exterior	-	-	0,040	0,66
Mampostería de piedra	0,280	0,790	0,354	
Aislamiento térmico (Lana mineral)	0,000	0,040	0,000	
Ladrillo cerámico "Termoarcilla"	0,140	0,219	0,639	
Mampostería de piedra	0,280	0,790	0,354	
Resistencia Térmica superficie interior	-	-	0,130	
TOTAL	0,700		1,518	

TABLA 3: SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA MUROS EXTERIORES PLANTA PRIMERA

Capas del cerramiento Exterior Planta 1	Espesor (m)	λ (W/m·°C)	R_T (m²·°C /W)	U (W/m²·°C)
Resistencia Térmica superficie exterior	-	-	0,040	0,66
Mortero de cemento para enfoscado	0,050	1,800	0,028	
Ladrillo cerámico "Termoarcilla"	0,140	0,219	0,639	
Aislamiento térmico (Lana mineral)	0,000	0,040	0,000	
Ladrillo cerámico "Termoarcilla"	0,140	0,219	0,639	
Mortero de yeso para enlucido	0,035	0,800	0,044	
Resistencia Térmica superficie interior	-	-	0,130	
TOTAL	0,365	-	1,520	

- Muros en contacto con el terreno

TABLA 4: SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA MUROS EN CONTACTO CON EL TERRENO

Capas del cerramiento en contacto con el terreno	Espesor (m)	λ (W/m·°C)	R_T (m²·°C /W)	U (W/m²·°C)
Resistencia Térmica superficie exterior	-	-	-	0,61
Mortero de cemento para enfoscado	0,050	1,800	0,028	
Ladrillo cerámico "Termoarcilla"	0,220	0,219	1,005	
Aislamiento térmico (Lana mineral)	0,005	0,040	0,125	
Mampostería de piedra	0,280	0,790	0,354	
Resistencia Térmica superficie interior	-	-	0,130	
TOTAL	0,555		1,642	

- Forjado en contacto con el terreno

TABLA 5: SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA FORJADOS EN CONTACTO CON EL TERRENO

Capas de Forjados en contacto con el terreno	Espesor (m)	λ (W/m·°C)	R_T (m²·°C /W)	U (W/m²·°C)
Resistencia Térmica superficie exterior	-	-	-	0,60
Losa de hormigón armado	0,200	2,500	0,080	
Aislamiento térmico (XPS)	0,050	0,034	1,471	
Lámina impermeabilizante (Polipropileno)	0,002	0,220	0,009	
Mortero de cemento (nivelación + agarre)	0,020	1,800	0,011	
Baldosa de gres	0,020	2,300	0,009	
Resistencia Térmica superficie interior	-	-	0,100	
TOTAL	0,292	-	1,679	

- Cubierta

TABLA 6: SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA CUBIERTA

Capas del cerramiento de Cubierta	Espesor (m)	λ (W/m·°C)	R_T (m²·°C /W)	U (W/m²·°C)
Resistencia Térmica superficie exterior	-	-	0,040	0,36
Tejas de pizarra	0,020	2,200	0,009	
Mortero de cemento (agarre)	0,020	1,800	0,011	
Aislamiento térmico (XPS)	0,080	0,034	2,353	
Lámina impermeabilizante (Polipropileno)	0,002	0,220	0,009	
Forjado unidireccional HA	0,250	1,316	0,190	
Mortero de yeso para enlucido	0,035	0,800	0,044	
Resistencia Térmica superficie interior	-	-	0,100	
TOTAL	0,407	-	2,756	

- Forjados interiores

TABLA 7: SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA FORJADOS INTERIORES

Capas de forjados interiores	Espesor (m)	λ (W/m·°C)	R _T (m ² ·°C /W)	U (W/m ² ·°C)
Resistencia Térmica superficie exterior	-	-	0,100	0,52
Baldosa de gres	0,020	2,300	0,009	
Mortero de cemento (nivelación + agarre)	0,020	1,800	0,011	
Lámina impermeabilizante (Polipropileno)	0,002	0,220	0,009	
Aislamiento térmico	0,050	0,034	1,471	
Forjado unidireccional HA	0,250	1,316	0,190	
Mortero de yeso para enlucido	0,035	0,800	0,044	
Resistencia Térmica superficie interior	-	-	0,100	
TOTAL	0,377		1,933	

- Particiones interiores

TABLA 8: SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA PARTICIONES INTERIORES

Capas de Particiones interiores	Espesor (m)	λ (W/m·°C)	R _T (m ² ·°C /W)	U (W/m ² ·°C)
Resistencia Térmica superficie exterior	-	-	0,130	1,01
Mortero de yeso para enlucido	0,035	0,800	0,044	
Ladrillo cerámico "Termoarcilla"	0,140	0,219	0,639	
Mortero de yeso para enlucido	0,035	0,800	0,044	
Resistencia Térmica superficie interior	-	-	0,130	
TOTAL	0,210		0,987	

Con la programación de estas soluciones constructivas se cumplen los requerimientos de CTE para un edificio localizado en Madrid.

4.3 Establecimiento de las ganancias internas del edificio

Las ganancias internas que se crean en el interior de los edificios repercuten directamente en el comportamiento termodinámico de las distintas zonas térmicas. Por ello, es importante definir los espacios en los que tendrán lugar estas ganancias térmicas y los valores de los mismos. Es necesario introducir posteriormente estos datos para analizar y programar la simulación térmica.

Se conoce que los valores de las ganancias internas son aproximados y dependen del uso de la propia vivienda.

Para el prototipo de vivienda unifamiliar se considera el siguiente escenario en cuanto a las ganancias internas del edificio:

TABLA 9: GANANCIAS INTERNAS VIVIENDA (1)

Zona	MODELO		OCUPACIÓN		TªCONSIGNA (°C)	
	Superficie (m²)	Volumen (m³)	Nº Personas	Personas/m²	Calefacción	Refrigeración
Cocina-Comedor	36,39	78,97	2	0,05	21	26
Dormitorio	13,12	28,47	2	0,10	21	26
Baño	6,88	14,93	1	0,10	21	26
Salón Dormitorio	64,50	162,76	4	0,05	21	26
Buhardilla	9,42	8,76	0	0,00	-	-
Sala de instalaciones	9,16	11,33	0	0,00	-	-
Sala de ensayos	60,12	186,37	4	0,05	21	26
Total	199,59	491,59	-	-	-	-

TABLA 10: GANANCIAS INTERNAS VIVIENDA (2)

Zona	ILUMINACIÓN			GANANCIAS INTERNAS			
	(W/m² 100lux)	Nivel mínimo (lux)	(KW)	Computadoras (W/m²)	Miscelaneos (W/m²)	Cocina (W/m²)	Total (KW)
Cocina-Comedor	3,4	300,00	0,37	-	-	15	0,55
Dormitorio	3,4	100,00	0,04	3,58	-	-	0,05
Baño	3,4	150,00	0,04	-	1,67	-	0,01
Salón Dormitorio	3,4	150,00	0,33	3,90	-	-	0,25
Buhardilla	-	-		-	-	-	
Sala de instalaciones	-	-		-	5,00	-	0,05
Sala de ensayos	3,4	150,00	0,31	3,90	-	-	0,23
Total	-	-	1,09	-	-	-	1,14

4.4 Introducción de los horarios de funcionamiento

Una vez definidos los valores de las ganancias internas de la vivienda (personas, equipos, iluminación...) hay que apuntar que no estarán en funcionamiento las 24 horas del día, sino que habrá periodos en los que estén sin utilizar, o a un rango medio.

De esta manera se propone unos horarios de funcionamiento para las ganancias internas de todos los habitáculos del edificio definido. Estos son:

TABLA 11: PROGRAMACIÓN DE GANANCIAS INTERNAS DORMITORIO

DORMITORIOS		
OCUPACIÓN	EQUIPOS	ILUMINACIÓN
<p>Entre semana</p> <p>Hasta: 07:00, 1, Hasta: 08:00, 0.5, Hasta: 09:00, 0.25, Hasta: 22:00, 0, Hasta: 23:00, 0.25, Hasta: 24:00, 0.75,</p> <p>Fin de semana</p> <p>Hasta: 07:00, 1, Hasta: 08:00, 0.5, Hasta: 09:00, 0.25, Hasta: 22:00, 0, Hasta: 23:00, 0.25, Hasta: 24:00, 0.75,</p> <p>Vacaciones</p> <p>Hasta: 07:00, 1, Hasta: 08:00, 0.5, Hasta: 09:00, 0.25, Hasta: 22:00, 0, Hasta: 23:00, 0.25, Hasta: 24:00, 0.75,</p>	<p>Entre semana</p> <p>Hasta: 07:00, 0.05, Hasta: 08:00, 0.5, Hasta: 09:00, 1, Hasta: 10:00, 0.5, Hasta: 17:00, 0.05, Hasta: 18:00, 0.3, Hasta: 19:00, 0.5, Hasta: 20:00, 0.75, Hasta: 22:00, 1, Hasta: 23:00, 0.75, Hasta: 24:00, 0.3,</p> <p>Fin de semana</p> <p>Hasta: 07:00, 0.05, Hasta: 08:00, 0.5, Hasta: 09:00, 1, Hasta: 10:00, 0.5, Hasta: 17:00, 0.05, Hasta: 18:00, 0.3, Hasta: 19:00, 0.5, Hasta: 20:00, 0.75, Hasta: 22:00, 1, Hasta: 23:00, 0.75, Hasta: 24:00, 0.3,</p> <p>Vacaciones</p>	<p>Entre semana</p> <p>Hasta: 07:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 0.2, Hasta: 24:00, 0,</p> <p>Fin de semana</p> <p>Hasta: 07:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 0.2, Hasta: 24:00, 0,</p> <p>Vacaciones</p> <p>Hasta: 07:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 0.2, Hasta: 24:00, 0,</p>

	Hasta: 07:00, 0,05, Hasta: 08:00, 0,5, Hasta: 09:00, 1, Hasta: 10:00, 0,5, Hasta: 17:00, 0,05, Hasta: 18:00, 0,3, Hasta: 19:00, 0,5, Hasta: 20:00, 0,75, Hasta: 22:00, 1, Hasta: 23:00, 0,75, Hasta: 24:00, 0,3,	
--	--	--

TABLA 12: PROGRAMACIÓN DE GANANCIAS INTERNAS COCINA COMEDOR

COCINA COMEDOR		
OCUPACIÓN	EQUIPOS	ILUMINACIÓN
Entre semana Hasta: 07:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 0,2, Hasta: 24:00, 0,	Entre semana Hasta: 07:00, 0,05, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0,05, Hasta: 23:00, 0,25, Hasta: 24:00, 0,05,	Entre semana Hasta: 07:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 1, Hasta: 24:00, 0,
Fin de semana Hasta: 07:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 0,2, Hasta: 24:00, 0,	Fin de semana Hasta: 07:00, 0,05, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0,05, Hasta: 23:00, 0,25, Hasta: 24:00, 0,05,	Fin de semana Hasta: 07:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 1, Hasta: 24:00, 0,
Vacaciones Hasta: 07:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 0,2, Hasta: 24:00, 0,	Vacaciones Hasta: 07:00, 0,05, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0,05, Hasta: 23:00, 0,25, Hasta: 24:00, 0,05,	Vacaciones Hasta: 07:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 1, Hasta: 24:00, 0,

TABLA 13: PROGRAMACIÓN DE GANANCIAS INTERNAS DORMITORIO / SALA DE ENSAYOS

SALÓN DORMITORIO / SALA DE ENSAYOS		
OCUPACIÓN	EQUIPOS	ILUMINACIÓN
<p>Entre semana</p> <p>Hasta: 16:00, 0, Hasta: 18:00, 0.5, Hasta: 22:00, 1, Hasta: 23:00, 0.65, Hasta: 24:00, 0,</p> <p>Fin de semana</p> <p>Hasta: 16:00, 0, Hasta: 18:00, 0.5, Hasta: 22:00, 1, Hasta: 23:00, 0.65, Hasta: 24:00, 0,</p> <p>Vacaciones</p> <p>Hasta: 16:00, 0, Hasta: 18:00, 0.5, Hasta: 22:00, 1, Hasta: 23:00, 0.65, Hasta: 24:00, 0,</p>	<p>Entre semana</p> <p>Hasta: 16:00, 0.05, Hasta: 18:00, 0.5, Hasta: 22:00, 1, Hasta: 23:00, 0.65, Hasta: 24:00, 0.05,</p> <p>Fin de semana</p> <p>Hasta: 16:00, 0.05, Hasta: 18:00, 0.5, Hasta: 22:00, 1, Hasta: 23:00, 0.65, Hasta: 24:00, 0.05,</p> <p>Vacaciones</p> <p>Hasta: 16:00, 0.05, Hasta: 18:00, 0.5, Hasta: 22:00, 1, Hasta: 23:00, 0.65, Hasta: 24:00, 0.05,</p>	<p>Entre semana</p> <p>Hasta: 16:00, 0, Hasta: 23:00, 1, Hasta: 24:00, 0,</p> <p>Fin de semana</p> <p>Hasta: 16:00, 0, Hasta: 23:00, 1, Hasta: 24:00, 0,</p> <p>Vacaciones</p> <p>Hasta: 16:00, 0, Hasta: 23:00, 1, Hasta: 24:00, 0,</p>

TABLA 14: PROGRAMACIÓN GANANCIAS INTERNAS BAÑO

BAÑO		
OCUPACIÓN	EQUIPOS	ILUMINACIÓN
<p>Entre semana</p> <p>Hasta: 7:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 0.2, Hasta: 24:00, 0,</p> <p>Fin de semana</p> <p>Hasta: 7:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 0.2, Hasta: 24:00, 0,</p> <p>Vacaciones</p> <p>Hasta: 7:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 0.2, Hasta: 24:00, 0,</p>	<p>Entre semana</p> <p>Hasta: 06:00, 0.05, Hasta: 07:00, 0.3, Hasta: 09:00, 1, Hasta: 10:00, 0.3, Hasta: 19:00, 0.05, Hasta: 21:00, 1, Hasta: 22:00, 0.3, Hasta: 24:00, 0.05,</p> <p>Fin de semana</p> <p>Hasta: 06:00, 0.05, Hasta: 07:00, 0.3, Hasta: 09:00, 1, Hasta: 10:00, 0.3, Hasta: 19:00, 0.05, Hasta: 21:00, 1, Hasta: 22:00, 0.3, Hasta: 24:00, 0.05,</p> <p>Vacaciones</p> <p>Hasta: 06:00, 0.05, Hasta: 07:00, 0.3, Hasta: 09:00, 1, Hasta: 10:00, 0.3, Hasta: 19:00, 0.05, Hasta: 21:00, 1, Hasta: 22:00, 0.3, Hasta: 24:00, 0.05,</p>	<p>Entre semana</p> <p>Hasta: 07:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 1, Hasta: 24:00, 0,</p> <p>Fin de semana</p> <p>Hasta: 07:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 1, Hasta: 24:00, 0,</p> <p>Vacaciones</p> <p>Hasta: 07:00, 0, Hasta: 10:00, 1, Hasta: 19:00, 0, Hasta: 23:00, 1, Hasta: 24:00, 0,</p>

TABLA 15: PROGRAMACIÓN DE GANANCIAS INTERNAS SALA DE INSTALACIONES

SALA DE INSTALACIONES
EQUIPOS
<p>Entre semana</p> <p>Hasta: 07:00, 0, Hasta: 08:00, 0.5, Hasta: 09:00, 1, Hasta: 10:00, 0.5, Hasta: 17:00, 0, Hasta: 18:00, 0.25, Hasta: 19:00, 0.5, Hasta: 20:00, 0.75, Hasta: 22:00, 1, Hasta: 23:00, 0.75, Hasta: 24:00, 0.25,</p> <p>Fin de semana</p> <p>Hasta: 07:00, 0, Hasta: 08:00, 0.5, Hasta: 09:00, 1, Hasta: 10:00, 0.5, Hasta: 17:00, 0, Hasta: 18:00, 0.25, Hasta: 19:00, 0.5, Hasta: 20:00, 0.75, Hasta: 22:00, 1, Hasta: 23:00, 0.75, Hasta: 24:00, 0.25,</p> <p>Vacaciones</p> <p>Hasta: 07:00, 0, Hasta: 08:00, 0.5, Hasta: 09:00, 1, Hasta: 10:00, 0.5, Hasta: 17:00, 0, Hasta: 18:00, 0.25, Hasta: 19:00, 0.5, Hasta: 20:00, 0.75, Hasta: 22:00, 1, Hasta: 23:00, 0.75, Hasta: 24:00, 0.25,</p>

4.5 Descripción de los sistemas de calefacción “tradicionales”

El objetivo final de este estudio es comprobar los ahorros energéticos, que derivan en ahorro económico, del sistema Plactherm frente a los diferentes sistemas de calefacción tradicionales.

Para ello, primero hemos diseñado una propuesta teórica de una edificación básica sobre la que poder compararlos. Además, se ha descrito la situación climatológica sobre la que se va a trabajar.

Es el momento de realizar la descripción de los diferentes sistemas de calefacción tradicionales que nos servirán de comparativa con el sistema Plactherm. Estos son:

- Caldera de gas + emisores
- Calefacción por aire (Bomba de calor aire-aire)
- Suelo radiante hidráulico convencional
- Suelo radiante eléctrico convencional

4.5.1 Caldera de gas + emisores

El primer sistema de calefacción evaluado corresponde a un sistema de generación térmica mediante caldera de gas natural y difusión por emisores térmicos. Coloquialmente se conoce como “radiadores convencionales”. Es uno de los sistemas de calefacción más comunes en España.

El sistema está formado por un circuito de agua caliente compuesto por una caldera, una bomba que impulse el agua hacia los emisores, y los diferentes emisores situados en las zonas térmicas del edificio. Además, existirá una herramienta de control para manejar el sistema.

El fluido que circulará por el sistema será agua. El volumen de la planta se auto-dimensiona, así como el caudal máximo del circuito. El caudal mínimo se establece en $0\text{m}^3/\text{s}$.

La programación de disponibilidad de la planta es ON24/7, es decir, estará disponible todas las horas del año.

Respecto a la caldera, se propone un modelo convencional de alta temperatura con una eficiencia térmica del 89%, es decir, 0,89. El combustible es gas natural.

El modo de flujo de la caldera es no modulado. Esta opción se refiere a los circuitos de agua caliente de volumen variable, donde a pesar de que la demanda térmica

hace una petición nominal según su caudal de diseño, la caldera puede operar a diferentes tasas de flujo.

La temperatura de salida del agua es de 75°C.

La carga parasitaria del sistema es de 25W. Esta representa la potencia consumida por el sistema aun cuando este no está en funcionamiento. Este valor corresponde al consumo de los sistemas eléctricos de control del mismo.

La bomba que hace circular el agua por el sistema es de tipo velocidad variable. El consumo nominal de energía se auto dimensiona, teniendo en cuenta una altura de bombeo nominal del 20.000Pa, una eficiencia del motor de 0,9, y un caudal mínimo de 0m³/s.

Respecto a los emisores, o comúnmente denominados radiadores, se configuran con un caudal máximo de agua auto-dimensionado, así como su capacidad. La temperatura media del agua será de 75°C, y tendrá un caudal másico de 0,063Kg/s.

4.5.2 Calefacción por aire (Bomba de calor aire-aire)

El segundo sistema de calefacción corresponde a un mecanismo bomba de calor aire-aire, con difusores directos en cada zona térmica.

A pesar de que este tipo de aparatos tienen doble función, es decir, de calefacción y de refrigeración, en el presente estudio solo se tratará la calefacción del mismo.

El mecanismo presenta un sistema de condensación por aire y sistema de evaporación por aire también. La fracción máxima de aire que entra a la bomba de calor es 1.

Al igual que en el caso anterior, la disponibilidad de la planta es on 24/7, es decir, la planta estará disponible todas las horas del año.

Se programa la posibilidad de recirculación de aire sin economizador. El economizador en este tipo de sistemas trata de recuperar el calor residual del aire que se expulsa al exterior.

Los siguientes valores se han auto-dimensionado:

- Caudal de diseño
- Caudal con refrigeración
- Caudal con calefacción
- Caudal cuando no se requiere calefacción ni refrigeración

La bomba de calor dispone de un ventilador de impulsión que también es 24/7. Tiene una eficiencia de 0,70, aumento de presión de 600Pa, la eficiencia del motor es de 0,90.

Tanto la capacidad nominal total de calefacción, como el caudal nominal de aire se auto-dimensionan. El COP programado es de 3,

La temperatura de bulbo seco exterior mínima para el funcionamiento del compresor se establece en -10°C (la temperatura mínima de Madrid no es nunca menor que -5°C).

Se propone además una estrategia de desescarchamiento mediante la cual se funde la escarcha utilizando un calentador de resistencia eléctrica. El control del desescarchamiento es por demanda.

El caudal máximo de los difusores de aire se auto-dimensiona y se programa en 24/7.

4.5.3 Suelo radiante hidráulico convencional

El tercer sistema de calefacción corresponde a un sistema con generación energética mediante caldera de gas natural, y difusión por suelo radiante hidráulico de baja temperatura.

El mecanismo se basa en un circuito de agua caliente compuesto por una caldera, una bomba de circulación, diferentes circuitos de suelo radiante situados en cada una de las zonas térmicas del edificio y un sistema de control. El fluido, como se indica anteriormente es agua, con un flujo en el sistema variable y una temperatura máxima de circuito de 100°C y una temperatura mínima de 0°C . El caudal máximo se auto-dimensiona, mientras que el mínimo como es lógico se establece en $0\text{m}^3/\text{s}$.

La disponibilidad se fija de nuevo en 24/7, estando disponible todas las horas del año.

La caldera propuesta corresponde a una caldera convencional de alta temperatura con una eficiencia térmica de 0,9. El combustible utilizado es gas natural. Tanto la capacidad nominal, como el caudal de diseño del agua se auto dimensionan.

La caldera posee una carga eléctrica parasitaria de 25W, que corresponde al consumo eléctrico de los mismos aun cuando no está en funcionamiento.

Además, el sistema requiere de una bomba para hacer circular el agua por el circuito. Se establece una altura de bombeo nominal de 20.000Pa, una eficiencia del motor de 0,9, y un caudal mínimo de $0\text{m}^3/\text{s}$.

Los circuitos de suelo radiante se configuran con un caudal máximo auto dimensionado. El diámetro de la tubería se establece en 0,013m, es decir, 13mm. El rango de regulación es de 2°C .

El acabado final del suelo radiante hidráulico presenta una baldosa de granito de 2cm de espesor, instalada sobre una capa de mortero de cemento de 2 cm de espesor. Bajo estas dos capas se situaría la fuente radiante de calor, las tuberías por las que circula el agua caliente.

4.5.4 Suelo radiante eléctrico tradicional

El cuarto y último sistema con los que se comparará PlacTherm será un sistema de calefacción con generación eléctrica y difusión por suelo radiante.

Este sistema radiante de baja temperatura se utiliza para el calentamiento por resistencia eléctrica el cual suministra energía a la superficie de suelo de las zonas del edificio. El sistema se controla mediante termostato en cada zona del edificio.

La programación del sistema es on 24/7, disponible de nuevo todas las horas del año.

Al igual que en el suelo radiante hidráulico tradicional, se propone una solución constructiva para el suelo basada en una baldosa de grafito de 2cm de espesor instalada sobre una capa de mortero de cemento de 2cm también. La capa de mortero de cemento tiene doble función de agarre y nivelación del terreno. Bajo estas dos capas se sitúan los cableados eléctricos que aportarán calor al sistema.

La temperatura de confort se fija en 21°C y el rango de limitación se establece en 2°C . Este valor especifica el rango de temperatura en grados en el cual el sistema limita la entrada de calor a través de los cables de las resistencias.

La programación de la temperatura de control especifica la temperatura justa donde la potencia de entrada al sistema es se encuentra en el punto medio entre la mínima (0W) y la máxima (se autodimensiona en función de las cargas térmicas de cada zona y las necesidades). Por ejemplo, si la temperatura de consigna es de 21°C y el rango de control es de 2°C , la potencia eléctrica suministrada al sistema será 0 cuando se alcance

una temperatura de 22°C y la entrada de potencia será máxima en 21°C. Para valores intermedios entre 20°C y 22°C la entrada de potencia al sistema radiante varía linealmente.

4.6 Definición de datos climáticos a utilizar en las simulaciones termodinámicas

Madrid, la ubicación seleccionada para llevar a cabo las simulaciones termodinámicas, se ubica al sur de Europa y en el centro de la península ibérica, en la meseta sur.

La temperatura media se sitúa en 15°C. Los inviernos son fríos, con temperaturas medias en los meses más fríos de alrededor de 6°C, mientras que los veranos son calurosos con temperaturas medias de 25°C, llegando en algunos casos a temperaturas máximas de 35°C. Es importante recalcar la oscilación diaria de temperatura. Se muestra más reflejada en la periferia urbana, ya que en el centro de la ciudad se reduce por el efecto de las interacciones de la propia actividad humana (transporte, industria...) Además, existe una gran amplitud térmica anual. Se data en torno a los 20°C en función de la ubicación dentro de la comunidad. Esta cifra tan alta es consecuencia de la gran distancia al mar y la altitud (por encima de los 600msnm).

Las precipitaciones en Madrid son algo superiores a los 400mm con dos etapas claramente diferenciadas. Los meses de verano (de junio a septiembre) las precipitaciones son prácticamente nulas mientras que en otoño y principios de invierno son máximas. Las nevadas se consideran poco frecuentes y prácticamente despreciables. Se datan en torno a 4-5 sucesos al año. Aun así, encontramos heladas frecuentes en todo el territorio.

A continuación, se exponen los datos climáticos a utilizar para analizar el sistema de calefacción PlacTherm frente a los sistemas de calefacción “tradicionales”. Estos son:

- Temperatura de bulbo seco (°C)

Es resultado de una medición con un termómetro estándar. Se expresa en °C y en ámbito de la calefacción y la refrigeración es uno de los valores más importantes ya que son básicos en el nivel de confort de un habitáculo. En apartados posteriores se tratará el concepto de nivel de confort y sus variedades.

- Temperatura de Rocío (°C)

La temperatura de rocío es un valor en °C que nos informa de la cantidad de humedad presente en el ambiente. Si se supone un valor de humedad constante, a la temperatura de rocío el aire se satura.

Si a una determinada temperatura menor que la de rocío enfriamos el aire, se condensará y por tanto existirá una nueva temperatura de rocío.

En definitiva, es el valor más bajo en el cual el agua presente en el aire empieza a condensarse, formando neblina o también denominado rocío.

- Humedad relativa (%)

La humedad relativa refleja la cantidad de vapor de agua presente en el aire en un momento concreto.

Es un factor que depende de la temperatura del aire en gran medida. Así, la humedad relativa aumenta con la temperatura en un volumen constante.

- Radiación solar normal (Wh/m²)

La radiación solar es fruto de las fusiones nucleares producidas en el interior del sol que llegan a nuestro planeta en forma radiante. La energía recibida por el sol según la AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) es 10.000 veces mayor que la consumida por la humanidad. Es por esto por lo que es uno de los valores más importantes a tener en cuenta a la hora de hacer un estudio térmico de una vivienda.

Entendemos como radiación solar normal, la recibida de manera directa desde el sol, calculada en Wh/m².

- Radiación solar difusa

Como se ha comentado en capítulos anteriores, la presencia de la atmósfera y del efecto invernadero es básico para la vida en la Tierra. De esta manera y gracias de nuevo a la atmósfera, nos encontramos con la radiación solar difusa. Esta proviene de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación solar. En días soleados puede suponer hasta un 15% de la radiación total recibida en la tierra.

- Radiación solar global

Es la suma de la radiación solar difusa y la radiación solar normal

- Acimut solar(°)

Es el ángulo que forma la proyección solar sobre un plano tangente a la tierra realizado desde el punto del observador, y el eje sur de dicho plano.

En otras palabras, es el ángulo que forma el sol y el sur alrededor del horizonte del campo de visión de un espectador.

Es importante no confundir este valor con la altura solar, entendida esta como el ángulo entre los rayos solares y el propio plano tangente a la tierra. La altura al alba sería 0° y en el punto en el que el sol está más alto (mediodía) 90° . Además, su complementario es el cenit solar, valor que también se utilizará en el estudio térmico.

Se añade una imagen a continuación para aclarar la diferencia debido a la similitud de ambos términos:

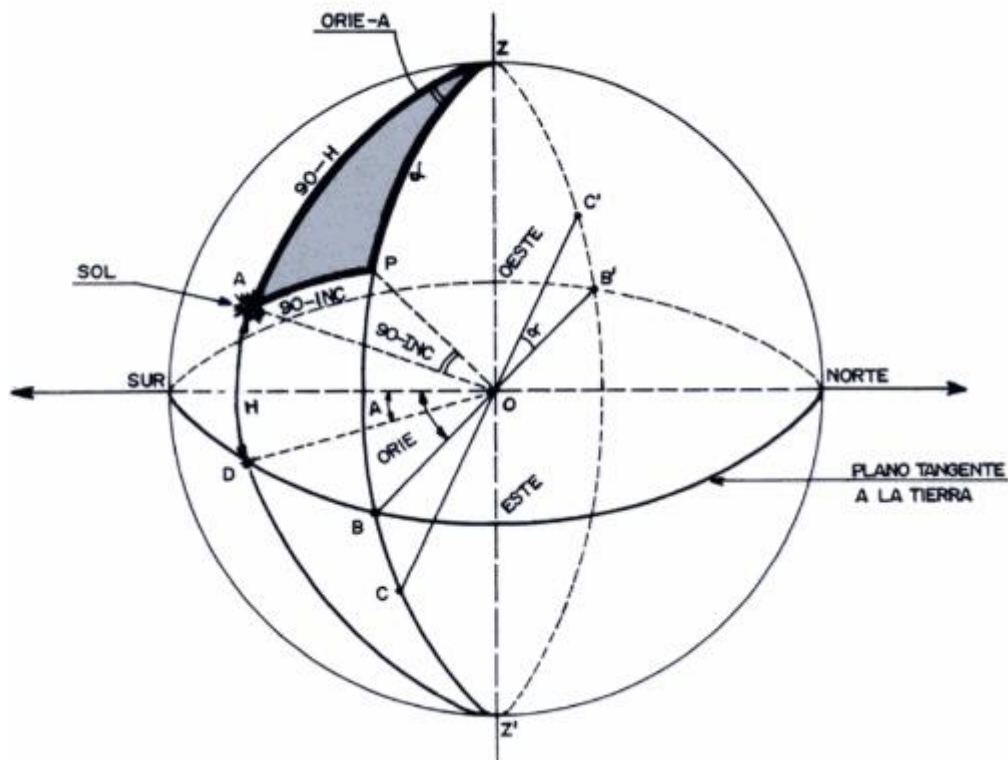


Figura 14: Explicación de Azimut solar y Altura solar [6]

En la imagen se representa el azimut solar como A, en el plano horizontal tangente a la tierra, y la altura H, desde este plano hasta el sol.

- Dirección($^\circ$) y velocidad (m/s) del viento

Será necesario también tener en cuenta las propiedades del viento, tanto dirección como velocidad. La velocidad se expresará de manera gráfica mientras que la dirección se reflejará a través de la rosa de los vientos. La rosa de los vientos es un instrumento gráfico con cientos de años de antigüedad, que nos ayudará a saber las direcciones de los vientos más fuertes y poder calcular el efecto que esto tendrá en nuestras simulaciones.

5. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

5.1 Resultados energéticos

Una vez realizadas las simulaciones de los cuatro tipos de sistemas de calefacción “tradicionales” y el sistema PlacTherm sobre la vivienda diseñada, se procede a mostrar los resultados.

En este apartado, se podrán obtener datos de consumos comparativos de PlacTherm frente a los diferentes sistemas, pero no se visualizarán las ventajas del gradiente térmico que ofrece las soluciones de suelo radiante.

Como se puede comprobar el dimensionamiento de 80W/m^2 es viable para contrarrestar las demandas térmicas del edificio propuesto en la zona establecida. Se recuerda que la gran ventaja del suelo radiante PlacTherm es que permite mantener acondicionado únicamente la zona ocupada hasta una altura de 2 metros aproximadamente.

Así, las potencias térmicas eléctricas del sistema PlacTherm para cada uno de los habitáculos de la vivienda diseñada son:

TABLA 16: RESULTADOS ZONIFICADOS POTENCIAS PLAC THERM

Bloques térmicos	Zonas	S. útil (m ²)	Potencia PlacTherm (W)
Bloque 1	Cocina-Comedor	36,39	2864.8
	Dormitorio	13,12	1015.2
	Baño	6,88	576.8
	Salón/Dormitorio	64,50	4702.4
	Buhardilla	9,42	-
Bloque 2	Sala de instalaciones	9,16	-
	Sala de ensayos	60,12	5188.0
TOTAL		199,59	14347.2

Es necesario destacar que los consumos energéticos evaluados provienen de diferentes fuentes energéticas, siendo estas:

- Electricidad: Bomba de calor, Suelo radiante eléctrico tradicional y suelo radiante eléctrico PlacTherm.
- Gas natural: Caldera + emisores, Caldera + Suelo radiante hidráulico.

Así, encontraremos diferentes ratios de coste y de emisiones a la atmósfera. En el presente estudio, se evaluará únicamente la energía consumida en kWh en un año natural, sin extrapolar los resultados a costes económicos o medioambientales.

El resumen de los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas a través de la herramienta EnergyPlus se pueden observar en la siguiente gráfica:

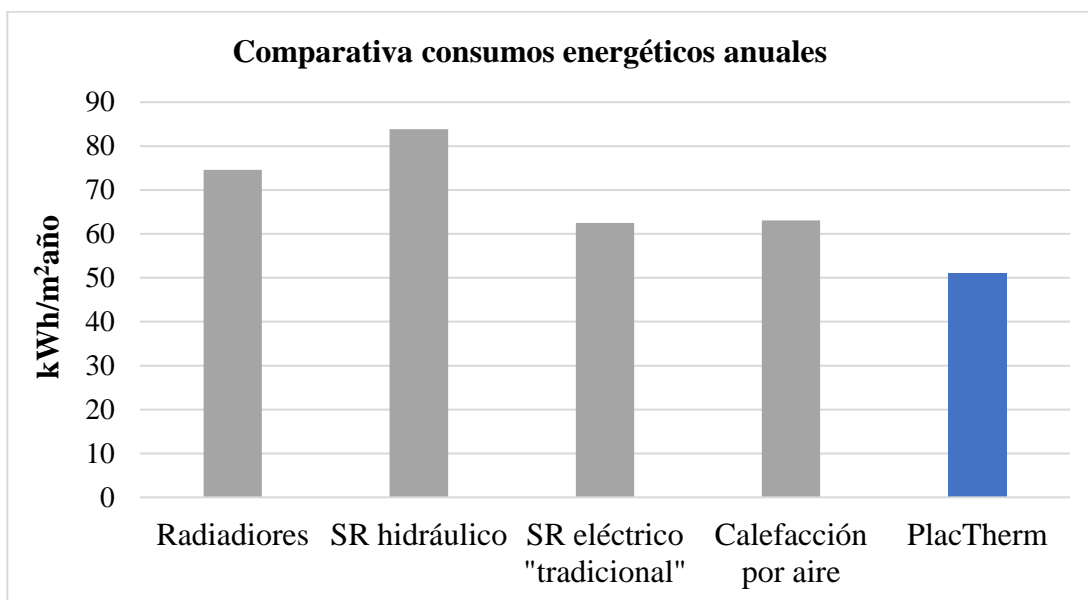


Figura 15: Comparativa consumos energéticos sistema PlacTherm vs. Sistemas Tradicionales

Según los resultados obtenidos anteriormente, podemos establecer unos ratios de ahorro energético que supone la instalación del sistema PlacTherm en la vivienda diseñada. De nuevo recordar que los ahorros reflejados son energéticos, no económicos, ya que cada sistema de calefacción posee fuentes de alimentación diversas. Por ello, posteriormente se realizará en el siguiente punto un análisis de la viabilidad económica del sistema a modo de balance económico.

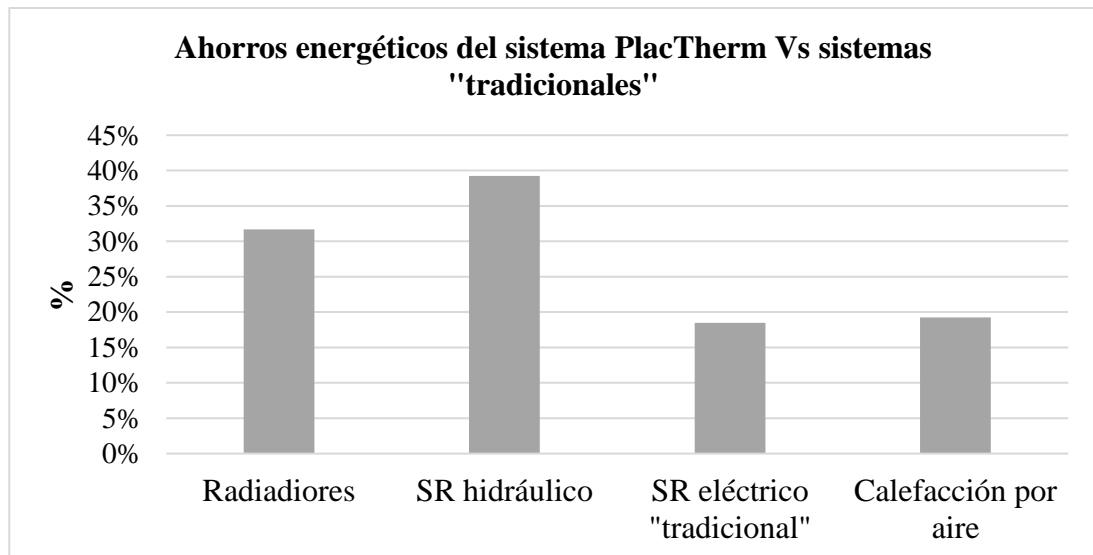


Figura 16: Ahorro energético del sistema PlacTherm vs. Sistemas Tradicionales

A partir de estos datos, se pretende realizar una base para extrapolar los resultados obtenidos diversos escenarios de casos reales y demostrar la viabilidad y el ahorro del sistema PlacTherm frente al resto de sistemas de calefacción tradicionales.

5.2 Análisis financiero del sistema PlacTherm

El sistema PlacTherm se presenta como una alternativa a los sistemas de calefacción “tradicionales” capaz de generar ahorro energético y con ello un ahorro económico también. Además, gracias a la zonificación y al control domótico se produce una mejora en el confort del habitáculo que genera de nuevo beneficios en las personas que lo habitan.

Como se cita en *Carbon Trust, Technology Guide*, más del 50% de la energía anual consumida proviene de la calefacción. Por ello la importancia de reducir este consumo y conseguir optimizarlo al máximo.

Además, en el caso de las oficinas, una buena temperatura para el trabajador, un perfecto confort térmico, repercute de manera directa en el rendimiento del trabajador. El cuerpo humano tiene más de 160.000 sensores de temperatura a lo largo de todo su cuerpo. Además, la percepción térmica de cada persona es totalmente diferente. Es necesario la adaptación del entorno a cada individuo para conseguir un perfecto confort térmico.

Respecto a la situación y tamaño del mercado de la calefacción a nivel mundial, se conoce que en 2015 generó más de 45 billones de euros y Europa supuso un 44% del mercado.

En un principio, PlacTherm basa su objetivo en el sector empresas y oficinas, es decir, no residencial. De ahí el motivo de este estudio, comprobar la viabilidad del sistema en espacios residenciales. Según un estudio realizado por Market&Markets, el sistema de calefacción con mayor presencia en oficinas son los sistemas HVAC con aproximadamente un 80%. El suelo radiante se encarga únicamente de un 10% de la calefacción en Europa. Aun así, se estima que alcanzará un valor de 12% en 2020 debido a las mejoras en rendimiento y confort. Por ello, se convierte en un sector a tener en cuenta en años futuros.

Además, se presenta un informe detallado de los costes de cada una de las partes de la baldosa PlacTherm, así como el coste por metro cuadrado.

TABLA 17: COSTES DESGLOSADOS BALDOSA PLACTHERM

Pieza	U/m²	€	€/m²
Panel de aislamiento	1	1,90 €	1,90 €
Cobertura superior	1	4,42 €	4,42 €
Estructura	1	1,16 €	1,16 €
Elemento resistivo	1	13,07 €	13,07 €
Alambre de la cerradura	1	4,00 €	4,00 €
Cable maestro	0,1	0,68 €	0,07 €
Electrónica	1	10,20 €	10,20 €
Electrónica	0,05	37,65 €	1,88 €
Adhesivo	0,05	10,00 €	0,50 €
Montaje	1	2,50 €	2,50 €
			39,70 €

Por último, hay que recordar que los costes de instalación de la placa son muy reducidos en comparación con el resto de sistemas, ya que no es necesario la instalación de sistemas adicionales y es adaptable sobre cualquier tipología de suelo.

6. CONCLUSIONES

En el presente estudio se ha realizado la simulación de calefacción de una vivienda unifamiliar con sistemas de calefacción tradicionales y con el nuevo sistema de suelo radiante eléctrico PlacTherm. Para ello, se ha diseñado un prototipo de vivienda referencia mediante la herramienta Design Builder y se han definido sus características según los documentos de obligado cumplimiento (RITE y CTE). Posteriormente, utilizando el software de cálculo EnergyPlus se han realizado las correspondientes simulaciones, para terminar realizando un análisis comparativo de estas.

La principal conclusión encontrada es la que demuestra el ahorro energético que produce el sistema PlacTherm en nuestro edificio de diseño. Así, encontramos un ahorro para cada sistema de calefacción que oscila entre los 11,54kWh/m² frente al suelo radiante eléctrico tradicional y los 32,89kW/m²h que se ahorrarán frente al sistema radiante hidráulico. Entre estos dos valores se sitúan la calefacción por aire con 12,14kW/m²h de ahorro energético y la caldera con radiadores como elemento de difusión con un ahorro de 22.66kW/m²h.

Además, se ha expresado el ahorro porcentual del sistema PlacTherm frente a cada sistema tradicional. Los datos obtenidos, de menor a mayor ahorro energético son un 18% frente al sistema de suelo radiante eléctrico tradicional; 19% frente a la calefacción por aire, 32% frente a la caldera con radiadores; y 39% de ahorro si se compara con el suelo radiante hidráulico.

Para finalizar el trabajo, se realiza un pequeño resumen económico de los costes aproximados que tiene el sistema estudiado, y los ahorros derivados del propio ahorro energético. Sabiendo que el coste por metro cuadrado del sistema PlacTherm es de 39,70€ y que la superficie total de la vivienda es de 199,59m², habría que realizar una inversión inicial de 7923,72€. Conocemos además que los precios de instalación son mínimos, ya que no es necesario realizar modificaciones en la vivienda por lo que el coste total de instalación se aproxima al de compra. Con todos estos elementos y conociendo el coste real de la energía para el caso de estudio, pueden calcularse las rentabilidades de la instalación de este sistema y sus periodos de amortización.

7. BIBLIOGRAFÍA

[1] C. Peny Sánchez, “Certificación de la eficiencia energética de la vivienda existente: comparativa entre las posibles soluciones y mejoras”, Proyecto Fin de Carrera, Departamento de Ingeniería geológica y minera, Escuela Técnica superior de ingenieros de minas, Madrid, España, 2018.

Disponible en: http://oa.upm.es/49738/1/PFC_M_Carmen_Peny_Sanchez.pdf

[2] D. A. Olivera Oliva, “Diseño energético de un suelo radiante para una sala de 12m² ubicada a 4000 msnm en Langui-Cuzco”, Tesis doctoral, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad Pontificia Católica de Perú, Lima, Perú, 2011.

Disponible en:

http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/805/OLIVERA_OLIVA_DAVY_DISE%20ENERGETICO_CUZCO.pdf?sequence=1

[3] A. Maíllo, Climatización de vivienda unifamiliar con bomba de calor agua-agua y suelo radiante”, Tesis doctoral, Universidad de la Rioja, La Rioja, España, 2004.

Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1025436>

[4] Uponor Hispania, S.A.U., “Manual Técnico de Climatización Invisible”, Madrid, España.

[5] E. Hernández Goríbar, *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*, México, Limusa, 2009.

[6] J. J. García-Badell, *Cálculo de la energía solar*, Instituto nacional de investigaciones agrarias, Madrid, España, 1983.

[7] J. F. Jiménez Cañabete, “Comparativa de eficiencia energética y amortización en el edificio de Can Marcet de Sabadell entre distintas instalaciones de energías renovables”, Proyecto Fin de Carrera, Escuela politécnica superior de edificación de Barcelona, Universidad politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2009.

Disponible en:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/7221/pfc-e%202009.052%20mem%20B2ria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[8] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDEA, Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, “Informe sintético de indicadores de eficiencia energética en España”, Departamento de planificación y estudios, 1ª Edición, Madrid, España, 2017.

[9] T. P. Alaña Castillo, L. B. Capa Benítez, y J. G. Sotomayor Pereira, (2017). “Desarrollo sostenible y evolución de la legislación ambiental en las MIPYMES del

Ecuador”, Universidad y Sociedad, Revista científica de la universidad de Cienfuegos, Volumen 8, Número 3, pág. 91-99, Septiembre 2016.

Disponible en: <http://rus.ucf.edu.cu/>

[10] L. Fronti de García, C. Fernández Cuesta, “El Protocolo de Kioto y los costos ambientales”, *Revista del instituto internacional de costos*, Número 1, pág.: 9-31, Enero-Junio 2007.

[11] M. Salomone, “Con los biocombustibles no se ahorran emisiones de CO₂”, *elpais edición digital*, 12 de septiembre de 2007.

Disponible en: https://elpais.com/diario/2007/09/12/futuro/1189548004_850215.html

[12] J. R. Martín-Sanz García, “Análisis de medidas de ahorro energético aplicables a un edificio universitario de bajo consumo energético”, Trabajo fin de Grado, Escuela de ingenierías industriales, Universidad de Valladolid, Valladolid, España, 2017.

[13] S. Menéndez Villarrubia, “Estudio de la viabilidad de una empresa especializada en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y comercio de derechos de emisión”, Proyecto Fin de Carrera, Organización Industrial, Escuela Politécnica superior, Universidad Carlos III, Madrid, España, 2009.

[14] A. Sánchez Ogallar, “Fuentes energéticas y problemas ambientales”, *Didáctica Geográfica*, Número 8, pág. 69-92, 2006.

[15] R. D. Garreaud, “Cambio climático: bases físicas e impactos en Chile”, *Revista Tierra Adentro*, Número 93, marzo-abril 2011.

[16] Documentación concedida por el equipo PlacTherm.

[17] *Código Técnico de Edificación*, Ministerio de Fomento, Gobierno de España, 2009.

[18] *Reglamento de Instalaciones Térmicas de los edificios*, Secretaría de estado de Ingeniería, 2013.

8. TRABAJOS FUTUROS

A lo largo de este trabajo, se ha realizado la simulación sobre una vivienda unifamiliar del sistema PlacTherm. Se ha comprobado su aplicación y se ha realizado una comparativa con diferentes sistemas de calefacción denominados tradicionales.

A pesar del trabajo realizado, existen una serie de trabajos o posibilidades de acción añadidas al propio proyecto que sería interesante analizar. A continuación, se exponen algunos de los trabajos futuros que complementarían el proyecto y sobre los cuales queda pendiente el estudio.

Evaluación del tiempo de respuesta de los suelos radiantes eléctricos y del sistema PlacTherm. Uno de los principales problemas de los suelos radiantes es la lentitud en la velocidad de respuesta, es decir, el tiempo que tarda en alcanzar la temperatura de confort o deseada. En muchas ocasiones, cuando se requiere de calor en una vivienda, se quiere de manera instantánea, y de ahí la importancia de este estudio. Para llevarlo a cabo, se recomienda diseñar de nuevo un prototipo de habitáculo. Se denomina habitáculo y no vivienda ya que se puede simplificar mucho en diseño de las estructuras. Mediante una simple habitación de las dimensiones elegidas, se podría comparar el tiempo, y con ello la velocidad de respuesta de todos los sistemas de calefacción.

Estudio de la instalación de suelo radiante eléctrico PlacTherm en edificios otras tipologías. Como se ha demostrado en este trabajo, la tecnología PlacTherm se sitúa en la cumbre en lo que ahorro energético respecta, llegando a ahorros de hasta un 40% en edificios residenciales. Se considera interesante la adaptación del problema propuesto a otras modalidades de edificaciones. Se propone la instalación y comparación de los sistemas mencionados y explicados anteriormente en lugares donde el volumen de aire a calentar sea extremadamente grande, como por ejemplo edificios de culto (iglesias, catedrales...) o edificios terciarios (plantas de oficinas, centros comerciales, polideportivos...). Se espera, como es lógico, que los consumos totales y los consumos por m² aumenten en gran medida. El volumen de aire a calentar es mayor y las ganancias internas producen una aportación mínima respecto a las necesidades del diseño.

Realización de las simulaciones en diferentes ubicaciones. Como se ha visto reflejado en el trabajo, la ubicación decidida marca en gran medida los resultados de las simulaciones. Por ello, y con el fin de demostrar la validez del sistema PlacTherm y los ahorros energéticos frente a los sistemas tradicionales, se propone la instalación del mismo u otro diseño de vivienda, pero en diferentes ubicaciones geográficas del territorio

nacional o internacional. Gracias a esto y si los resultados son favorables, se puede extrapolar el modelo a otros lugares de la península o de Europa. Es importante destacar aquí que, cuando se desplacen las simulaciones a otros lugares más cálidos o fríos, los consumos variarán, pero no de la misma manera. No se puede dar por hecho que si el sistema PlacTherm produce ahorros energéticos en Madrid, también lo vaya a hacer en lugares con temperaturas extremas donde la temperatura de confort es difícil de alcanzar. Del mismo modo ocurre si se trasladan las simulaciones a zonas cálidas. Es posible que en estos lugares los ahorros se minimicen o incluso el sistema PlacTherm no refleje ganancias energéticas. Es por esto por lo que este es uno de los trabajos futuros de mayor relevancia y con más importancia para el proyecto.

ANEXO A. PLANOS DETALLE DISEÑO DE VIVIENDA



Fig. A.1: Distribución espacial planta alta

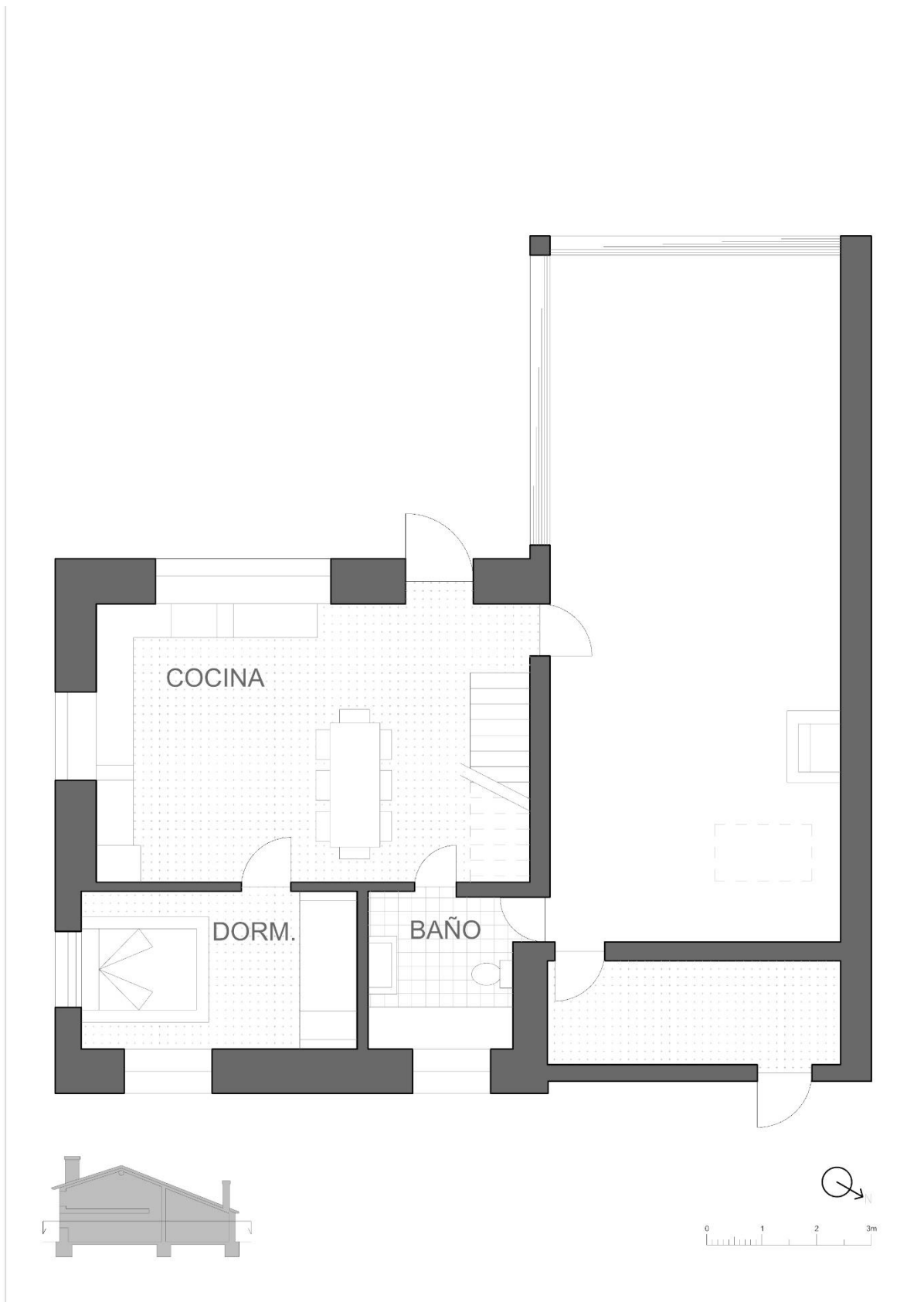


Fig. A.2: Distribución espacial planta baja

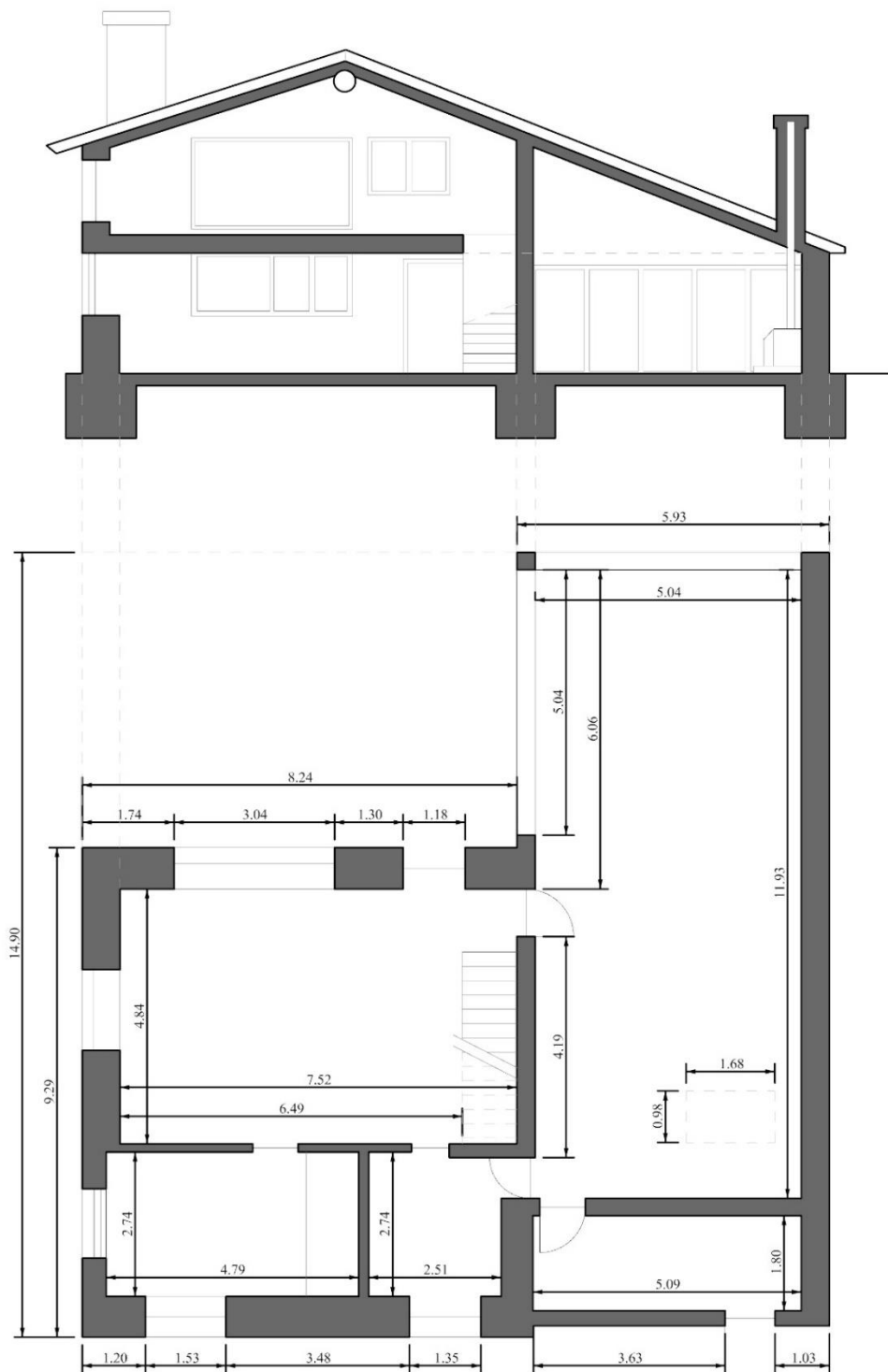


Fig. A.4: Planta baja acotada